

**Aus dem medizinischen Zentrum für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde**

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-
Steiner

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

- Abteilung für Zahnerhaltung -

Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger

**Effektivität des PerioScan®-Systems in der
Entfernung subgingivaler Konkreme im
Vergleich zu einem konventionellen Schall- und
Ultraschallscaler**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Tobias Römer

geboren am 1.2.1989 in Gießen

Marburg, 2017

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 8.6.2017

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Prof. Dr. Andreas Braun

Korreferent: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Meiner Familie gewidmet

Zusammenfassung

Ziel der Studie: Mit dieser Arbeit soll untersucht werden, inwiefern sich die Effektivitäten der Konkremententfernung mit dem neuartigen Ultraschallsystem „PerioScan®“ PS (Sirona, Bensheim) von denen der konventionellen Schallscaler „Sonicflex®“ SS (KaVo, Biberach) und dem Ultraschallscaler „Vector Scaler®“ US (Dürr, Bietigheim-Bissingen) unterscheidet.

Methodik: 75 menschliche extrahierte und in einer Lösung aus 0,9% NaCl und 0,001% Natriumazid-Zusatz gelagerte Zähne mit Konkrement an Wurzelbereichen wurden in ein künstliches Zahnfleischtaschenmodell eingebracht. Dort wurden sie in fünf Verfahrensweisen von Konkrement befreit: Je 15 Zähne wurden mit PS auf 100, 70 und 50% Intensität gereinigt und je weitere 15 Zähne mit SS und US auf maximaler Leistung der Geräte. Immer vor Beginn der Behandlung und stets nach fünf Sekunden wurde eine Bildaufnahme gemacht, bis das Konkrement entfernt war. So konnten die Konkrementflächen anschließend am Computer planimetrisch vermessen werden, was eine Bestimmung des spezifischen Konkrementabtrags pro Sekunde in mm^2/s für die jeweilige Testgruppe ermöglichte. Anschließend wurden die Ergebnisse zuerst mit dem nichtparametrischen Kruskal-Wallis-Test und nachfolgend mit dem Mann-Whitney-Test statistisch untersucht.

Ergebnisse: Wenn die drei Geräte auf höchster Intensität betrieben werden, besteht in den erzielten Effektivitäten kein signifikanter Unterschied ($p \geq 0,07$). Die mittlere erzielte Abtragsleistung beträgt bei PS $0,215 \text{ mm}^2/\text{s}$ (100%), $0,116 \text{ mm}^2/\text{s}$ (70%), $0,046 \text{ mm}^2/\text{s}$ (50%); bei SS $0,309 \text{ mm}^2/\text{s}$ und bei US $0,219 \text{ mm}^2/\text{s}$. Wird mit PS auf Intensitäten $< 100\%$ behandelt, nimmt die Effektivität im Vergleich zu allen andere Testgruppen ab und die Behandlungszeit verlängert sich deutlich.

Schlussfolgerung: Obwohl die in der Studie getesteten Geräte unterschiedliche Oszillationmuster der Scalerspitze vorweisen, kann kein signifikanter Unterschied in ihrer Effektivität festgestellt werden, wenn sie auf höchster Intensität betrieben werden. Die Effektivität einer Behandlung mit „PerioScan®“ ist abhängig von der gewählten Arbeitsintensität. Je

höher die Leistungseinstellung gewählt wird desto weniger Zeit wird benötigt um eine vollständige Entfernung des Konkrements zu erreichen.

Abstract

Objective: This study tries to assess the efficiency of the novel instrument „PerioScan®“ (Sirona, Bensheim, PS) in terms of calculus removal when operated at different intensity settings. Additionally, the results obtained were compared to those of the sonic scaler „Sonicflex®“ (KaVo, Biberach, SS) and ultrasonic scaler „Vector Scaler®“ (Dürr, Bietigheim-Bissingen, US).

Methods: 75 extracted human teeth which have been stored in a 0,9% NaCl and 0,001% Sodium-azide solution and showed calculus on root surfaces were examined using five methods of treatment in an artificial periodontal pocket model: 15 teeth were treated using PS at 100% intensity, another 15 teeth were cleaned at 70% respectively 50% intensity. The last 30 teeth were partially treated with US and SS at full power. A photo was taken right before each treatment and after instrumenting intervals of five seconds. In this manner calculus surfaces could be measured with a computer program and the specific efficiency in mm^2/s was calculated. A Kruskal-Wallis and Mann-Whitney-test was used for statistic analysis.

Results: When being used on highest power settings, the instruments do not show a statistically significant difference ($p \geq 0,07$). The mean efficiencies were $0,215 \text{ mm}^2/\text{s}$ (PS 100%), $0,116 \text{ mm}^2/\text{s}$ (PS 70%), $0,046 \text{ mm}^2/\text{s}$ (PS 50%), $0,309 \text{ mm}^2/\text{s}$ (SS) and $0,219 \text{ mm}^2/\text{s}$ (US). When operated at intensities $< 100\%$, PS showed a relevant decrease in efficiency and a notable prolongation of instrumentation-time.

Conclusion: Even if the instruments used in this study show different oscillation-patterns of the working tip, no significant difference could be shown when each instrument was used at full power. The efficiency of treatment with „PerioScan®“ is dependent on the selected intensity. The higher the selected intensity is the less time is needed to achieve complete calculus-removal.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Einführung und Definition	1
1.2. Erkrankungen des Parodonts	3
1.2.1. Klassifikation	3
1.2.2. Ätiopathogenese und Epidemiologie	4
1.2.2.1. Zahnstein und Konkrement	9
1.2.3. Diagnose	12
1.2.4. Therapie	15
1.3. Reinigung der Wurzeloberfläche	17
1.3.1. manuelle Reinigung	17
1.3.2. Maschinelle Reinigung	18
1.3.2.1. Schall und Ultraschall	18
1.3.2.2. Pulver-, Luft- und Wasserstrahl	21
1.3.2.3. Laser	22
1.3.3. chemische Keimreduktion	24
1.3.3.1. Chlorhexidindigluconat	24
1.3.3.2. Antibiotika	25
1.3.3.3. Photodynamische Therapie	26
1.4. Ziel der Studie	28
2. Material und Methode	29
2.1. Material	29
2.1.1. Zahnmaterial	29
2.1.2. Hilfsmittel und Verbrauchsmaterial	29
2.1.2.1. Taschenmodell	30
2.1.2.2. Dr. Regener Software Vivo®	31
2.1.2.3. Mettler Toledo PB 602-S®	31
2.1.2.4. G*Power® Version 3.1	31
2.1.2.5. IBM SPSS Statistics®	32
2.1.3. Instrumente	32
2.1.3.1. Sirona PerioScan®	32
2.1.3.2. KaVo Sonicflex®	34

2.1.3.3. Dürr Vector Scaler®	34
2.2. Methode.....	35
2.2.1. Versuchsdurchführung	36
2.2.1.1. Vorbereitung der Präparate	36
2.2.1.2. Versuchsablauf.....	37
2.2.1.2.1. Kontrollgruppe.....	39
2.2.1.2.2. Ermittlung der Anpresskraft	40
2.2.1.3. Planimetrische Untersuchung der Wurzeloberflächen	40
2.3. Statistik	41
3. Ergebnisse	43
3.1. Sirona PerioScan®	43
3.2. Vergleichsgruppen.....	44
3.3. Signifikanztests.....	45
3.4. Anpresskraft.....	46
4. Diskussion	47
4.1. Diskussion der Methodik.....	48
4.2. Diskussion der Ergebnisse	50
4.3. Schlussfolgerung	52
5. Anhang	54
5.1. Ergebnisse der Versuchsreihen.....	54
5.2. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	57
5.3. Literaturverzeichnis.....	62
5.4. Lebenslauf	79
5.5. Verzeichnis der akademischen Lehrer	80
5.6. Danksagung.....	80
5.7. Ehrenwörtliche Erklärung.....	81

1. Einleitung

1.1. Einführung und Definition

Die Parodontologie ist die Lehre und Wissenschaft, die sich mit dem Zahnhalteapparat (griechisch „par“ = um; „odontos“ = Zahn) und dessen Erkrankungen beschäftigt. Diese werden definitionsgemäß als „Parodontitiden“ - plural von „Parodontitis“ - bezeichnet. Der Suffix *-itis* verdeutlicht einen entzündlichen Prozess. Von dem Begriff „Parodontose“ wurde im Laufe der Jahre Abstand genommen, weil es sich bei dem Krankheitsbild nicht um rein atrophische und passiv degenerative Prozesse handelt, wie die dortige Endung *-ose* suggeriert. Es handelt sich also um eine bakterielle, biofilminduzierte Erkrankung des den Zahn umgebenden Gewebes (*Abb. 1*).

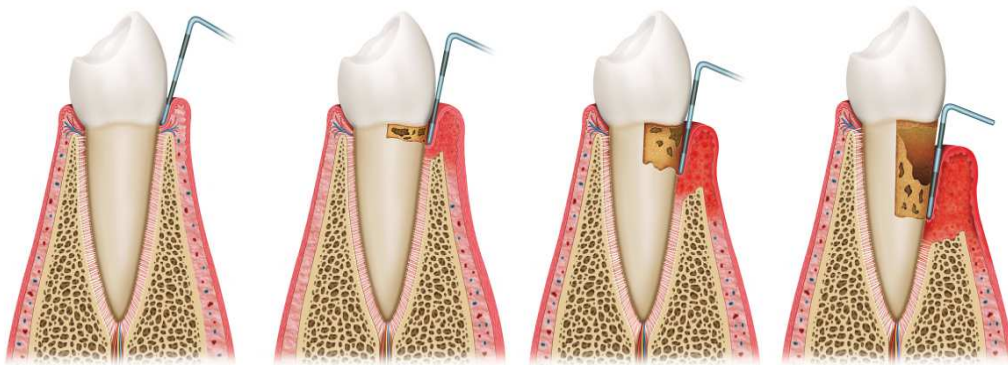


Abb. 1: Schematische Darstellung der Entwicklung einer Parodontitis samt Gingivitis, erhöhten Sondierungstiefen, Konkrementen und Alveolarknochenabbau

Quelle: Firma OraLucent, Long Beach, USA, 2015

Typische Symptome der Parodontitis sind Taschenbildung des Zahnfleisches durch Gewebeabbau und Migration der Epithelien nach apikal, Schwellung beziehungsweise Rückgang der Gingiva und konsekutiver Abbau des Alveolarknochens. Die hier beschriebene Form der Parodontitis - in der Literatur auch manchmal Parodontitis marginalis genannt (*Abb. 2*) - muss von der als Parodontitis apicalis bezeichneten Entzündung der Zahnwurzelspitzenregion (*Abb. 3*) abgegrenzt werden. Diese entsteht vornehmlich aus einer unbehandelten Pulpitis, die sich über den Wurzelkanal nach apikal ausbreitet und auch über Seitenkanäle das Parodont erreichen kann. Bei kombiniertem lateralen und apikalen

entzündlichen Knochenabbau spricht man von einer „Paro-Endo-Läsion“, deren genauer Ursprung oftmals nicht mehr zu klären ist (Abb. 4).



Abb. 2: Zahnfilm, Knochenabbau aufgrund von schwerer Parodontitis marginalis regio 35-37, Quelle: Dr. Dr. B. Zahedi, Ratingen, 2015



Abb. 3: Zahnfilm, Parodontitis apicalis an Zahn 34, Quelle: Firma Dr. Schweikart, 2015



Abb. 4: Zahnfilm, kombinierte Paro-Endo-Läsion an Zahn 46 distal, Quelle: Dr. Hans-Willi Hermann, Bad Kreuznach 2015

Im frühen 20. Jahrhundert, im Jahr 1924 wurde in Deutschland eine „Arbeitsgemeinschaft für Parodontosen-Forschung“ gegründet. Diese Vereinigung - kurz „ARPA“ genannt - ist als Ursprung der heutigen „Deutschen Gesellschaft für Parodontologie, DG PARO“ zu sehen. 10 Jahre früher, im Jahr 1914 wurde in den USA die „American Academy of Periodontology, AAP“ gegründet, die auch Herausgeber des „Journal of Periodontology“ ist. Der Vergleich zur „American Association of

Endodontics“, welche erst 1943 gegründet wurde, verdeutlicht, dass sich des Krankheitsbilds der Parodontitis und generell der Parodontologie als Disziplin der Zahnheilkunde in Deutschland relativ früh angenommen wurde.

1.2. Erkrankungen des Parodonts

1.2.1. Klassifikation

Zum erfolgreichen Therapieren einer Krankheit ist genaue Kenntnis über deren Definition und Ätiologie nötig. Diesbezüglich sollen Klassifikationen eine Orientierung bieten und dem Behandler Wege zu einer möglichen Therapie weisen. Für die Erkrankung des Zahnhalteapparats wurde zuletzt im Jahr 1999 durch die AAP und andere internationale Fachgesellschaften eine Übereinkunft getroffen, die die Parodontitis in acht Kategorien einteilt (Armitage 1999). Tab. 1 zeigt diese Kategorien tabellarisch auf.

I	Gingivale Erkrankungen
II	Chronische Parodontitis
III	Aggressive Parodontitis
IV	Parodontitis als Manifestation von Systemerkrankungen
V	Nekrotisierende Parodontalerkrankungen
VI	Parodontale Abszesse
VII	Parodontitis im Zusammenhang mit endodontalen Läsionen
VIII	Entwicklungsbedingte oder erworbene Zustände

Tab. 1: Klassifikation der Parodontalerkrankungen nach AAP (Armitage 1999)

Jede dieser acht Kategorien beinhaltet noch verschieden viele Subkategorien, welche die Krankheitsursache weiter spezifizieren. Die Auflistung und Erläuterung all dieser Subkategorien würde jedoch den Rahmen dieser Dissertation sprengen.

1.2.2. Ätiopathogenese und Epidemiologie

Die Entstehung einer Parodontitis ist als Prozess und Ergebnis komplexer Mechanismen und Umstände zu sehen, die sich wiederum gegenseitig beeinflussen. *Page* und *Kornmann* haben 1997 ein graphisches Modell entwickelt und publiziert, welches diese Faktoren und Umstände bildlich verdeutlicht (*Page* und *Kornman* 1997), (*Abb. 5*). Als Voraussetzung zur Entwicklung einer entzündlichen parodontalen Erkrankung ist das Vorhandensein eines oralen Biofilms - der dentalen Plaque - zu nennen. Speisereste und Speichelbestandteile heften sich zuerst mit Bakterien und Epithelzellen an dentale Grenz- und Glattflächen. Dort bilden sie damit den locker haftenden Verbund der sogenannten *Materia alba* (*Hellwig et al.* 2013).

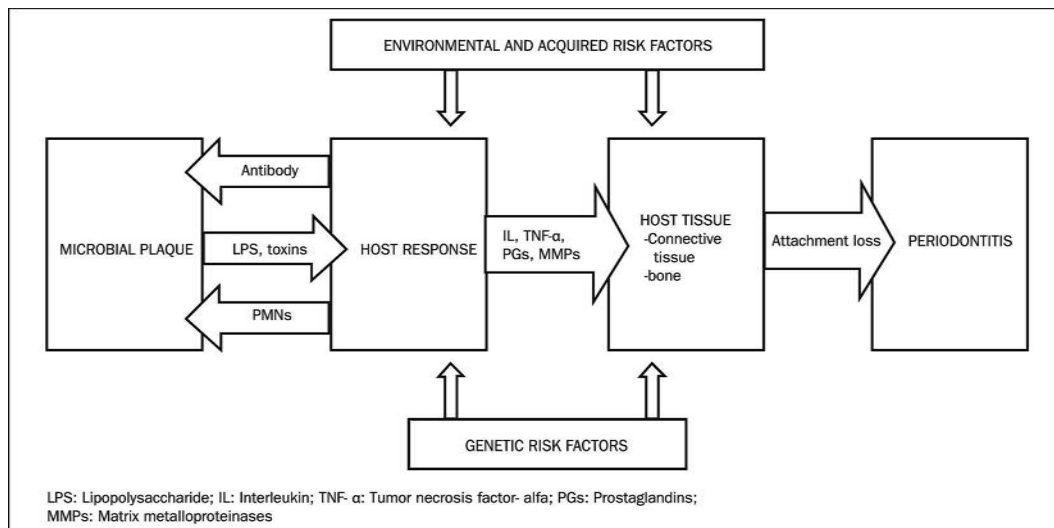


Abb. 5: Entstehung v. Parodontitis, modifizierende Faktoren (nach *Page* und *Kornmann*, 1997) Quelle: *Gurav* 2014

Im Gegensatz zur *Materia alba* ist die Zahnplaque vom Behandler nicht mehr mit Wasserspray entfernbare. Sie entsteht, wenn die in der *Materia alba* vorhandenen Mikroorganismen Stoffwechsel betreiben und sich in einer Matrix aus metabolischen Endprodukten, wie Polysacchariden, Lipiden und Proteinen weiter festsetzen können. Verbleibt die Plaque für vier bis sieben Tage an der Grenzfläche zwischen Zahn und Zahnfleisch, so werden durch die von Keimen in der Plaque freigesetzte Polysaccharide und Toxine erste Zeichen einer Gingivitis (Rötung, Schwellung, eventuell Schmerzen / Bluten beim Putzen) erkenntlich.

Somit ist Plaque nicht nur maßgeblich an der Entstehung einer Karies (*Doméjean-Orliaguet et al. 2006*) sondern auch an der Entwicklung der Gingivitis beziehungsweise der Parodontitis beteiligt. Beginnt die Plaque sich nun nach subgingival auszubreiten, ändert sich ihre bakterielle Zusammensetzung und Struktur. Bleibt eine Entfernung der Plaque aus dem Sulcus gingivae aus, kann aus der Gingivitis eine manifeste Parodontitis entstehen (*Wolf et al. 2004*). Studien zeigen jedoch auch, dass Plaque für das Entstehen zwar vorhanden sein muss, das alleinige Vorhandensein aber nicht ausreicht (*Löe et al. 1986*). Es kann also davon ausgegangen werden, dass eine sowohl immunologische als auch genetische „Disposition“ zur Erkrankung für deren Ausbruch gegeben sein muss (*Laine et al. 2012*). Solche Vermutungen werden auch durch eine Studie von *Rapp et al.* gestützt, in welcher anhand einer Untersuchung einer brasilianischen Familie ein Gen identifiziert werden konnte, das für ein vermehrtes Auftreten einer Parodontitis verantwortlich sein könnte (*Rapp et al. 2011*).

Eine Forschungsgruppe um *Socransky* wies im Jahr 1998 nach, dass im Biotop der Zahnfleischtasche von an Parodontitis erkrankten Personen im Besonderen drei Keime vermehrt vorhanden sind als beim Gesunden.

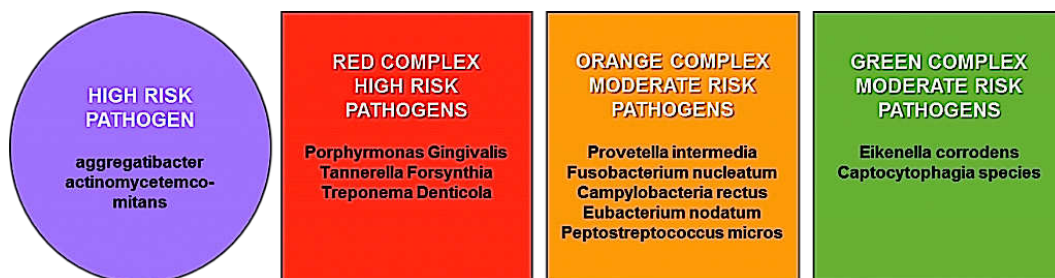


Abb. 6.: Aufteilung der parodontalpathogenen Keime in Komplexe, nach *Socransky, 1998*
Quelle: *Richmond Institute, Algonquin, USA, 2015*

Durch diese Ergebnisse wurde faktisch bekräftigt, dass der Ausbruch und das Fortdauern einer Parodontitis maßgeblich mit dem Vorhandensein der Anaerobier *Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythensis* und *Treponema denticola* - des sogenannten „Roten Komplexes“ - zusammenhängt (*Socransky et al. 1998*), (Abb. 6). In der Studie zeigte sich eine signifikante Verknüpfung zwischen Vorkommen dieser Keime und Vorliegen von tiefen Zahnfleischtaschen sowie einem Bluten nach

Sondierung. Eine Sonderrolle kommt dem Bakterium *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* zu: Es ist der Leitkeim der aggressiven Form der Parodontitis (Haubek 2010). Allen diesen Bakterien gemeinsam ist die Fähigkeit, in das den Sulkus gingivae umgebende Gewebe einzudringen, wodurch sich die vollständige Eradikation aus der Zahnfleischtasche rein mechanisch als schwierig gestaltet (Holt und Ebersole 2005). Mittlerweile ist auch eine eventuelle Beteiligung von Viren an der Entstehung von Parodontitis ins Interesse der Forschung gerückt. Slots vermutet in diesem Zusammenhang besonders Stämme des humanen Herpesvirus als das „...fehlende Puzzleteil in der Forschung der Parodontitis-Pathogenese.“ (Slots 2010). Er vermutet, dass diese Viren in der Ätiopathogenese der Parodontitis eine relevantere Rolle spielen als bisher bekannt ist und sie als eine Art Vermittler zwischen den verschiedenen Bakterienspezies fungieren. Dieser These stimmen Costalonga und Herzberg zu, in dem sie nicht länger von Parodontitis als bakterielle sondern als polymikrobielle Infektion sprechen (Costalonga und Herzberg 2014). Hajishengallis beschreibt parodontale Gesundheit als Gleichgewicht zwischen Immunabwehr und mikrobiellen Angriffen und deutet darauf hin, dass auch kleinere Störungen des Immunsystems und Änderungen in der Zusammensetzung der subgingivalen Plaque dieses Gleichgewicht in die eine oder andere Richtung kippen lassen können (Hajishengallis 2014). Die eben erwähnte immunologische Antwort des Menschen auf diese mikrobiellen Angriffe ist - obwohl als Waffe gegen eine fortschreitende Entzündung gedacht - selbst ein großer Faktor für den parodontalen Attachment- und Knochenverlust. Wie auf dem Schaubild nach Page und Kornmann zu Beginn dieses Abschnitts zu sehen ist, tragen die von Zellen des Immunsystems ausgeschütteten Entzündungsmediatoren wie beispielsweise Prostaglandine, Proteinkinasen sowie Zytokine und andere Enzyme entscheidend zu einem progressiven Gewebeabbau bei (Dennison und Van Dyke 1997). Die zytotoxische Wirkung dieser Mediatoren trifft nicht nur die mikrobiellen Aggressoren sondern auch körpereigenes Gewebe und bewirkt dort eine Osteo- und Kollagenolyse. Neben dem Biofilm und den in ihm enthaltenen Keimen und Viren gibt es zahlreiche Risikofaktoren, die die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung an

Parodontitis erhöhen und modifizieren. Das sind zum Einen umweltbedingte beziehungsweise erworbene und beeinflussbare und zum Anderen genetisch bedingte und damit unbeflussbare Risikofaktoren. Zahnfehlstellungen sind zwar behebbar, können aber eine natürliche Plaqueretention begünstigen, die Reinigung erschweren und somit die Entstehung einer Parodontitis fördern. Das Zigarettenrauchen wird von Wissenschaftlern als der eindrucksvollste Risikofaktor für eine parodontale Erkrankung gesehen. Studien ergaben, dass Raucher mit bis zu sechsfach höherer Wahrscheinlichkeit an Parodontitis erkranken als Nichtraucher (*Armitage* 1999). Als ursächlich gilt nicht nur eine Veränderung der Bakterienzusammensetzung in der Plaque sondern auch ein negativer Effekt des Rauchens auf den Metabolismus von Binde- und Knochengewebe mit der Konsequenz einer schlechteren Wundheilung (*Mishra und Mishra* 2013). Gleichfalls sind psychosoziale Umstände wie Stress und Depression nachgewiesene Risikofaktoren und begünstigen ein Entstehen oder eine Progression von Parodontitis (*Atri et al.* 2015). Neben diesen beeinflussbaren Faktoren, die oftmals kombiniert auftreten, spielen bei der Pathogenese der Parodontitis auch genetische Veränderungen eine entscheidende Rolle. Solche Veränderungen sind an sich nicht therapierbar, aber wenn sie diagnostiziert werden, ermöglicht es dem Behandler, die Therapie adäquat zu planen. Wird zum Beispiel bei einem Patienten ein Polymorphismus des Interleukin 1 β -Gens festgestellt, bedeutet dies für den Parodontitis-Patienten einen mit hoher Wahrscheinlichkeit verschärften Verlauf der Krankheit mit einer höheren Zahnverlustrate aufgrund einer überschießenden Produktion des Interleukins 1 β (*Laine et al.* 2001). Besonders früh einsetzende und aggressive Formen der Parodontitis finden sich zudem gehäuft bei Patienten mit genetischen Anomalien wie dem Papillon-Lefèvre- oder dem Down-Syndrom (*Albandar* 2014). Des Weiteren wurden seit Beginn der Parodontitis-Forschung im letzten Jahrhundert systemische Erkrankungen identifiziert, die eindeutig mit einer parodontalen Erkrankung in Verbindung zu bringen sind. In diesem Zusammenhang ist besonders Diabetes Mellitus zu erwähnen. 1989 zeigten schwedische Forscher, dass Langzeitdiabetiker (Typ 1) einen signifikant stärkeren Knochenverlust

erleiden können als Nicht-Diabetiker (*Hugoson et al. 1989*). Selbiges gilt für schlecht eingestellte Typ 2-Diabetiker: Ein HbA_{1c}-Wert von ≥ 7 korreliert mit erhöhten parodontalen Entzündungsparametern (*Kim et al. 2013*). Die Verbindung zwischen Diabetes und Parodontitis ist jedoch nicht nur unidirektional; eine suffiziente Parodontitis-Therapie erleichtert deutlich die Einstellung des Blutzuckerspiegels bei Diabetikern (*Bascones-Martínez et al. 2014, Kobschull 2012*). Neben Diabetes als Risikofaktor besteht außerdem noch Evidenz dafür, dass das Vorliegen einer Osteoporose in Verbindung mit schlechter Mundhygiene das Erkrankungsrisiko für Parodontitis stark erhöht (*Tezal et al. 2000*); andere Studien sehen diesen Zusammenhang jedoch als nicht hinreichend belegt (*Genco und Borgnakke 2013*). Ähnliches gilt für die Rolle von respiratorischen Erkrankungen und Adipositas. Es wird diskutiert, ob außer der Tatsache, dass sich bei Lungen- und Atemwegserkrankten meistens auch eine schlechte orale Hygienesituation vorfindet, auch Erreger der Pneumonie für ein Fortschreiten der Parodontitis verantwortlich sind oder nicht (*Scannapieco et al. 1992*). Bei Querschnittsstudien, die sich mit Adipositas im Bezug auf Parodontalerkrankungen beschäftigen, wird besonders auf die sekretive Aktivität von Fettgewebe hingewiesen, die im Verdacht steht, über die vermehrte Ausschüttung von Mediatoren Entzündungsreaktionen des parodontalen Gewebes voranzutreiben (*Pischon et al. 2007*). Abgesehen von pathologischen Zuständen wie sie oben beschrieben wurden, können auch diverse Medikamente sekundär zu einer Parodontitis führen. Primär löst die Einnahme von Medikamenten aus drei Gruppen (Antikonvulsiva, Immunsuppressiva, Calciumkanalblocker) eine Gingivahyperplasie aus, die eine Reinigung der Zähne massiv erschwert und so bei längerer Einnahme der verantwortlichen Wirkstoffe eine Parodontitis begünstigt (*Marshall und Bartold 1998, Stein 2012*).

Der vorangegangene Teil dieses Abschnitts beleuchtete Faktoren, welche das Auftreten einer Parodontitis fördern können. Im Folgenden soll hingegen veranschaulicht werden, dass Parodontitis selbst einen Faktor darstellt, der die Wahrscheinlichkeit des Auftretens anderer pathologischer Zustände - vornehmlich kardiovaskulärer Art - erhöhen kann. Studien wie

die 1996 von *Beck et al.* veröffentlichte Arbeit belegen, dass Parodontitis als Risikofaktor für Artherosklerose und folglich auch für thromboembolische Ereignisse wie Herzinfarkte oder Apoplexe zu sehen ist (*Beck et al.* 1996). Der Amerikaner *Armitage* hält die Hypothese, dass eine Verbindung zwischen der koronaren Herzkrankheit und Parodontitis bestehe zwar für gerechtfertigt, aufgrund von diversen methodischen Unterschieden aber für nicht aussagekräftig genug. Er hebt vielmehr den Charakter der Krankheit Parodontitis als chronische Entzündung hervor und sieht die Verbindung in der Tatsache gegeben, dass diese Entzündung mitsamt allen im Körper zirkulierenden Mediatoren und bakteriellen Toxinen das Gefäßsystem weiter schädigt (*Armitage* 2000). Eine polnische Arbeitsgruppe kommt zum selben Ergebnis wie *Beck*, sie geben jedoch auch zu bedenken, dass sich die Risikofaktoren für Parodontitis oder koronare Herzkrankheit fast komplett ähneln und die Verbindung beider Krankheiten daher rühren kann (*Włosowicz et al.* 2014). Anhand von Ergebnissen der vierten deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS IV), die im Jahr 2006 veröffentlicht wurden, lässt sich erkennen, dass parodontale Erkrankungen in Deutschland signifikant zugenommen haben. Waren laut DMS III aus dem Jahr 1997 nur 32,2% der 35- bis 44-jährigen Deutschen an einer mittelschweren Parodontitis erkrankt, so waren es nach Auswertung der DMS IV schon 52,7% (*Nixdorff und Abeck* 2009). Bei den Senioren ist ein Anstieg von 15,4% in der Prävalenz der schweren Parodontitis zu verzeichnen (DMS III: 24,4%, DMS IV: 39,8%) (*Schiffner et al.* 2009). Bei den an Parodontitis erkrankten Patienten ist ein durchschnittlicher jährlicher Attachmentverlust von 0,02 - 1mm zu diagnostizieren (*Hierse und Kepschull* 2012). Die Untersuchungen zur fünften deutschen Mundgesundheitsstudie laufen bis 2016. Ergebnisse oder Vergleiche mit der DMS IV werden also frühestens 2017 möglich sein.

1.2.2.1. Zahnstein und Konkrement

Bevor sich Zahnstein und Konkrement bilden können, muss sich eine Plaque gebildet haben und auf der Zahnoberfläche mehrere Tage verbleiben. Als Zahnstein bezeichnet man dann mineralisierte Plaque, die

supragingival gelegen ist und sowohl für den Behandler als auch für den Patienten ersichtlich ist (*Abb. 7*). Konkrement hingegen ist mineralisierte Plaque, die unterhalb des Zahnfleischrandes zu finden ist. Sie ist ohne ein Aufklappen der Gingiva nicht sichtbar und kann an allen Zähnen entstehen (*Abb. 8*). Beiden Formen liegt eine Schicht unmineralisierter bakterieller Plaque auf. Typischerweise entsteht supragingivaler Zahnstein an der lingualen Fläche der unteren Inzisiven und an der Bukkalfläche der oberen Molaren. Anhand dieses Verteilungsmusters in Nähe der Speicheldrüsen wird die spezielle Rolle von Speichel ersichtlich: Sowohl subgingivales Konkrement als auch supragingivaler Zahnstein entsteht durch mineralische Präzipitate aus dem Speichel, die sich in der Plaque festsetzen und so sukzessiv für eine Kalzifizierung ebendieser sorgen.



Abb. 7: Zahnstein, Unterkiefer Frontzähne, von lingual, Quelle: Firma Medeco, Bonn, 2015

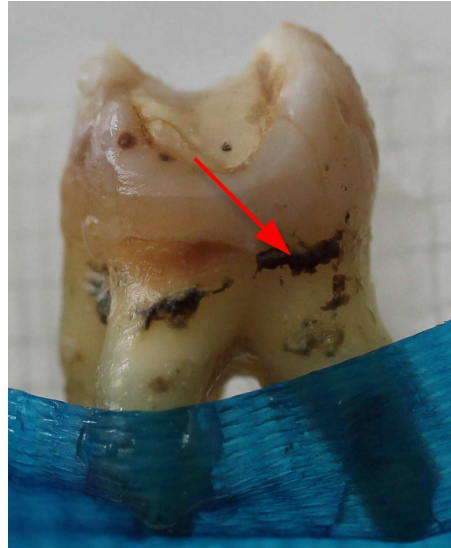


Abb. 8: Konkremente, Oberkiefer Molar, Sicht von distal

Die mineralischen, also anorganischen Teile von Zahnstein und Konkrement sind Kalziumphosphatsalze in verschiedener Zusammensetzung wie Brushit, Oktakalziumphosphat, Hydroxylapatit und Whitlockit. Untersuchungen der genauen Zusammensetzung und der Struktur von Zahnstein und Konkrement ergaben, dass subgingivales Konkrement gleichmäßiger mineralisiert ist und weniger organische Bestandteile enthält als supragingivaler Zahnstein (Davies et al. 1997). Als organische Bestandteile wurden Proteine, Lipide, Polysaccharide, abgeschilferte Epithelzellen, Leukozyten und verschiedene Keime ausgemacht, die sich an der porösen Oberfläche und in unmineralisierten Lakunen festsetzen können (Tan et al. 2004). Supragingivaler Zahnstein ist von heller, bräunlicher Farbe, wohingegen subgingivale Konkreme eher schwärzlich grün erscheinen. Erklärt wird dieser Farbunterschied durch Blutkomponenten und Bestandteile von anaeroben Bakterien, welche während der Mineralisation des Konkrements mit kalzifiziert werden. Dadurch, dass das dem Zahnstein und Konkrement unterliegende Schmelzoberhäutchen (Pellikel) mit der Zeit auch mineralisiert, entsteht ein starker Haftverbund zwischen den Auflagerungen und dem Zahnschmelz beziehungsweise dem Wurzelzement. Sie können vom Patienten nicht mehr ohne instrumentelle Hilfe entfernt werden. Da Zahnstein und Konkrement, wie oben erwähnt, immer von einer Schicht aus Bakterien bedeckt ist, ist fraglich, ob allein das Vorhandensein der

mineralisierten Auflagerungen ursächlich für ein Fortschreiten der Krankheit ist oder ob die bakterielle Plaque darauf verantwortlich zu machen ist. *Mombelli* et al. konnten zeigen, dass es möglich ist, eine parodontale Heilung herbeizuführen, indem man nur die bakterielle Plaque auf Konkrement und Zahnstein entfernt und die Auflagerungen an sich auf der Zahnoberfläche belässt (*Mombelli* et al. 1995). *Johnson* et al. verifizierten dieses Studienresultat mit dem Vergleich von Ergebnissen einer Parodontaltherapie ausschließlich mit Tetrazyklin-Einlage und derer eines manuellen Debridements: Eine Heilung ist auch mit vorhandenem Konkrement oder Zahnstein möglich, solange die bakterielle Plaque beseitigt wird (*Johnson* et al. 2002). Gemäß dieser Untersuchungsergebnisse lässt sich vermuten, dass die Mikroorganismen auf und innerhalb der Auflagerungen für eine Entstehung und Progression der Krankheit ursächlich sind. Konkrement und Zahnstein als solide Auflagerungen bieten jedoch mit ihren unmineralisierten Kanälen und Lakunen diesen Keimen eine ideale Wachstumsnische und sollten deshalb entfernt werden (*Jepsen* et al. 2011).

1.2.3. Diagnose

Damit dem Patienten eine adäquate Therapie empfohlen werden kann, ist eine möglichst präzise Diagnose nötig. Den ersten Teil der Diagnostik bildet die allgemeine beziehungsweise spezielle Anamnese; sie geht der ersten Inspektion der Mundhöhle voraus und dient der Identifizierung von zum Beispiel familiär gehäuftem Auftreten von Parodontitis, Nikotinsucht oder Diabetes. Durch die Inspektion des Mundes in Verbindung mit einem vollwertigen dentalen Befund erlangt der Behandler einen Überblick über die orale Situation des Patienten und kann schon eventuelle Problemstellen identifizieren. Zur genaueren Diagnostik und Feststellung, ob ein vollwertiger Parodontalstatus erhoben werden soll, wird nachfolgend der „Parodontale Screening Index“ (PSI) erhoben.






PSI – Der Parodontale Screening Index				
Code 0	Code 1	Code 2	Code 3	Code 4
				
schwarzes Band bleibt vollständig sichtbar			schwarzes Band bleibt teilweise sichtbar	schwarzes Band verschwindet ganz
keine Blutung	Blutung auf Sondieren	Blutung auf Sondieren	Blutung auf Sondieren möglich	Blutung auf Sondieren möglich
kein Zahnstein/Plaque	kein Zahnstein/Plaque	Zahnstein/Plaque und/oder	Zahnstein/Plaque möglich	Zahnstein/Plaque möglich
keine defekten Restaurationsränder	keine defekten Restaurationsränder	defekte Restaurationsränder	defekte Restaurationsränder möglich	defekte Restaurationsränder möglich
klinische Abnormitäten (z. B. Furkationsbeteiligung, mukoging. Probleme, Rezessionen, Zahnbeweglichkeit etc.) werden mit einem Stern * gekennzeichnet				

Abb. 9: Bestimmung und Einteilung des Parodontalen Screening Index (PSI), Quelle: Deutsche Gesellschaft für Parodontologie e.V., Regensburg

Dabei sind neben Punkten wie defekten Füllungsrandern oder überstehende Kronenrandern besonders die Faktoren Sondierungstiefe (ST), Bluten nach Sondierung (BOP) und das Vorhandensein von harten oder weichen Belägen von Interesse. Diese Parameter dienen zur ersten Erkennung einer parodontalen Entzündung. Durch die Indexierung (PSI Grad 0 bis 4) ist abschätzbar, ob der Patient gesund oder an einer leichten, mittleren oder schweren Parodontitis erkrankt ist (Abb. 9). Sollte der PSI eine weitere parodontologische Diagnostik nötig machen, wird mit dem Parodontalstatus eine hochauflösende manuelle Untersuchung des gesamten parodontalen Gewebes gemacht, die eine exakte Lokalisierung von tiefen Taschen, Furkationsbeteiligungen, Konkrementflächen oder anderen Pathologien zulässt (Abb. 10). Nach der Klassifikation von *Kormann* und *Page* kann nun anhand des Attachmentlevels (CAL) zum Beispiel eine lokalisierte chronische Parodontitis diagnostiziert werden, wenn weniger als 30% der Zahnflächen einen Attachmentverlust vorweisen.

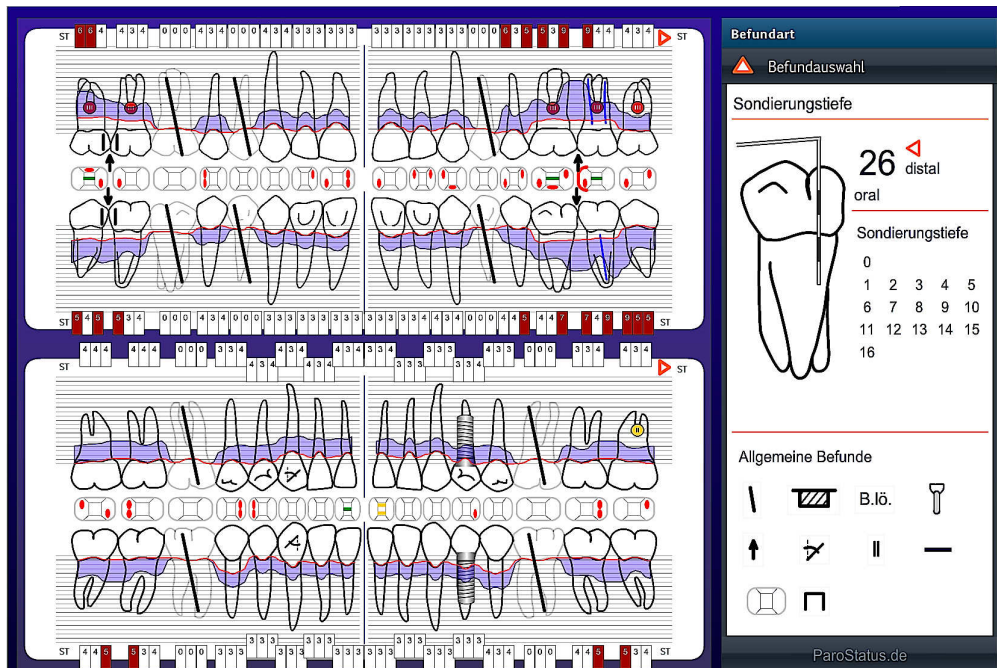


Abb. 10: Digitaler Parodontalstatus, Darstellung von fehlenden Zähnen, Implantaten, Gingivaverlauf, Sondierungstiefen, klinischem Attachmentlevel, Furkationsbeteiligung, insuffizienten Versorgung, Quelle: Firma ParoStatus.de, Berlin, 2015

Sind es mehr als 30%, handelt es sich um eine generalisierte chronische Parodontitis. Ergänzend teilt man anschließend den Schweregrad in leicht (1-2mm Attachmentverlust), mittel (3-4mm Attachmentverlust) und schwer (≥ 5 mm Attachmentverlust) ein. Als radiologische Diagnostikmethoden kommen eine Orthopantomogramm-Aufnahme (OPG, Abb. 11) oder ein röntgenologischer Parodontalstatus mit mehreren Zahnfilmen in Frage. Diese Aufnahmen dienen dem Behandler zu Beginn der Therapie als Orientierung und Verifikation seiner Verdachtsdiagnose. Als diagnostische Hilfsmittel stehen dem Kliniker dann des Weiteren noch Methoden zur Verfügung, die es möglich machen, anhand von Eluat aus der Zahnfleischtasche, Speichel oder subgingivaler Plaque mikrobiologische, genetische oder immunologische Informationen zu gewinnen, welche die parodontologische Therapie unterstützen können (Giannobile 2012, Izadi Borujeni et al. 2015). Verschiedene Pharmaunternehmen bieten Testreihen an, die eine Beteiligung von besonders parodontalpathogenen Keimen wie zum Beispiel *Porphyromonas gingivalis* oder *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* an der Entzündung aufdecken können. Zum Zwecke dieser mikrobiologischen Diagnostik wird eine Papierspitze, die normalerweise zum Trocknen des Wurzelkanals bei endodontischen

Behandlungen eingesetzt wird, zügig in eine Zahnfleischtasche nach apikal geführt. Dort belässt man sie ca. 20 Sekunden, bevor sie dann herausgezogen, in ein Plastikröhrchen verpackt und zur mikrobiologischen Untersuchung an ein Labor verschickt wird. Auch für den schon erwähnten Polymorphismus des Gens, welches Interleukin 1 β (IL-1 β) codiert, wird ein Speichel-Testkit angeboten.

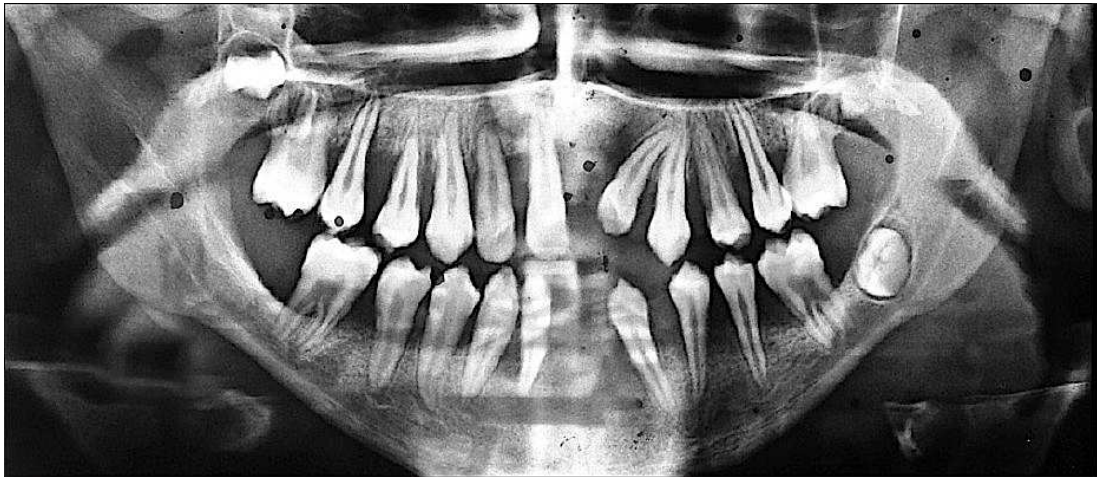


Abb. 11: OPG, schwere generalisierte Parodontitis marginalis, Quelle: *Journal of Indian Periodontology* (Khan et al. 2012)

Selbiges gilt für die Diagnostik eines vermehrten Vorhandenseins des Enzyms „aktive humane Matrix-Metalloproteinase 8“ (aMMP-8). Dieses Enzym wird unter Anderem von IL-1 β induziert und ist ein Marker für einen akut ablaufenden Bindegewebsabbau. Sein Titer korreliert mit dem Schweregrad der Parodontitis (Hardy et al. 2012). Durch diese Kombination von manuellen und visuellen Diagnostikmethoden wie sie beim Erheben des Parodontalstatus zum Einsatz kommen, bildgebenden Verfahren wie dem OPG und modernen Labortests ist eine detaillierte und vielschichtige Diagnose möglich.

1.2.4. Therapie

Als Ziel der Parodontitistherapie ist die Schaffung eines entzündungsfreien parodontalen Gewebes zu sehen. Dies bedeutet, dass Sondieren weitestgehend keine Blutung verursachen sollte, dass Sondierungstiefen abnehmen, dass eine eventuelle Beweglichkeit der Zähne stabilisiert wird (Attachmentgewinn) und nicht zuletzt, dass die mikrobielle Last in der

Zahnfleischtasche gesenkt wird. Dazu ist es vorerst nötig, den Patienten bezüglich der häuslichen Hygiene hinreichend zu schulen und zu instruieren. Ferner ist ebenso die Beseitigung von Risikofaktoren wie Zahnfehlstellungen, schlecht eingestelltem Blutzuckerspiegel oder Ähnlichem und das Abstellen von Gewohnheiten wie zum Beispiel Nikotinkonsum Teil einer erfolgreichen Behandlung. Dem Patienten muss vermittelt werden, dass ohne seine eigene Mithilfe kein Therapieerfolg möglich ist. In diesem Kontext zitieren *Zander* et al. in einem Artikel einen Zahnarzt aus den 1930ern mit den Worten „Zahnheilkunde sollte kontinuierlich und konstruktiv durch jeden Einzelnen für sich selbst mit dem Zahnarzt als gelegentlichem Helfer praktiziert werden und nicht nur durch den Zahnarzt mit dem Patienten als gelegentlichem Helfer.“ (*Zander* et al. 1976). Zu diesem Punkt haben Studien gezeigt, dass die meisten Patienten einen gesunden parodontalen Zustand leider nicht halten können, ohne dass sie in zeitlichen Intervallen an einem Hygiene- und Anti-Infektions-Programm eines Zahnarztes teilnehmen (*Wilson* 1996). *Wilson* betont dort ausdrücklich die Notwendigkeit einer regelmäßigen Motivation und Anleitung zur häuslichen Zahnpflege. Diese Dringlichkeit wurde auch im vorigen Abschnitt belegt: Parodontitis ist eine plaque-induzierte entzündliche Erkrankung und die Eradikation von pathogenen Keimen beziehungsweise die Etablierung eines Gleichgewichts zwischen Immunabwehr und Biofilm haben höchste Priorität. Nachfolgend steht therapeutisch eine Entfernung von sowohl weichen und harten als auch supra- und subgingivalen Belägen im Vordergrund, um weiterem Gewebeverlust vorzubeugen und die Infektion zu kontrollieren (*Drisko* 2001). Hierzu ist es eventuell auch nötig, überstehende Kronenränder oder insuffiziente Füllungen, die Plaqueretentionsnischen darstellen können, zu korrigieren oder zu erneuern. Durch die manuelle oder maschinelle Instrumentation der Zahnoberflächen und Zahnfleischtaschen, eventuell in Verbindung mit antimikrobieller Therapie, soll eine Progression der Krankheit gestoppt werden. Ist dies gelungen, ist der Erhalt dieses Zustands anzustreben, sodass der Patient je nach eigenem Vermögen zur selbstständigen Reinigung in geregelten zeitlichen Abständen zur unterstützenden Parodontaltherapie (synonym: „Recall“

oder „Maintenance“) in die zahnärztliche Praxis kommt. Sind jedoch manche Zahnfleischtaschen zu tief, um sie sowohl zuhause als auch in der Praxis zu reinigen oder sind intraossäre Defekte vorhanden, so ist eine korrektive, chirurgische Parodontaltherapie indiziert. Meist haben Zahnkliniken und Zahnarztpraxen eigene Behandlungsschemata, die dem Patienten durch Abfolgen bestimmter Schritte eine möglichst gründliche Therapie zukommen lassen sollen. Hier wird anhand der aktuellen klinischen Situation des Patienten entschieden, wie der nächste Behandlungsschritt aussehen muss. Sollte es möglich sein, ist neben dem Gewebeerhalt auch die Regenerierung von verlorengegangenen Gewebe als Ziel zu sehen. Hier stehen dem Behandler durch sogenannte „Guided Tissue Regeneration“-Methoden diverse Techniken zur Auswahl, die versprechen, verlorengegangenen Alveolarknochen und bindegewebiges Attachment wieder herstellen zu können (*Bartold 2015, Hägi et al. 2012*). Nach der Therapie kann ein Erfolg oder Misserfolg der Behandlung mit der erneuten Anfertigung einer röntgenologischen Übersichtsaufnahme beurteilt werden.

1.3. Reinigung der Wurzeloberfläche

1.3.1. Manuelle Reinigung

Traditionell werden die Wurzeloberflächen mit Handinstrumenten, sogenannten Küretten, gereinigt. In altägyptischen Aufzeichnungen ist erkennbar, dass eine subgingivale Instrumentierung schon vor ca. 3000-4000 Jahren durchgeführt wurde (*Cobb 2002*). Zur heutigen Zeit wird ein Set aus mehreren Küretten verwendet, die je nach zu reinigender Wurzelfläche verschieden gewinkelte und gestaltete Schäfte aufweisen, um der Wurzeloberfläche der verschiedenen Zähne am besten anzuliegen. Damit das periphere Weichgewebe nicht traumatisiert wird, sind diese Gracey-Küretten nur einseitig scharf; lediglich die der Wurzel anliegende Kante ist angeschliffen (*Abb. 12*).



Abb. 12: Gracey-Kürette 17/18 zu Reinigung der distalen subgingivalen Bereiche von Seitenzähnen Quelle: Firma Hu-Friedy, Frankfurt, 2015

Die Kürettenspitze wird in die Zahnfleischtasche eingeführt und in einem ca. 70°-Winkel zwischen Zahn und Kürettenkante an die Wurzeloberfläche gebracht. Anschließend befreit man die Wurzeloberfläche mit von apikal nach koronal ziehenden Bewegungen von Belägen. Diese im Englischen als „scaling and root planing (SRP)“ bekannte Methode stellt trotz Möglichkeiten einer andersartigen Reinigung nach wie vor eine probate Arbeitsweise dar, um Wurzeloberflächen lege artis von Konkrement und Endotoxinen befreien (Drisko 1998). Gemäß neuerer Erkenntnisse, dass mikrobielle Toxine eher der Wurzeloberfläche aufliegen als in den Wurzelzement einzudringen, wird vorgeschlagen, fortan von „root surface debridement (RSD)“ zu sprechen (Ciantar 2014). Dieser Ausdruck soll sozusagen ein vorsichtigeres Debridement propagieren und damit einem unnötig exzessiven Hartsubstanzabtrag vorbeugen. Die Grenzen des geschlossenen - also nicht chirurgischen - SRPs zeigen sich bei Zahnfleischtaschen $\geq 5\text{mm}$. Stambaugh et al. zeigten auf, dass tiefe Zahnfleischtaschen ein Reinigen ohne chirurgisches Aufklappen der Gingiva nahezu unmöglich machen; die Effizienz des SRPs nimmt also mit zunehmender Taschentiefe ab (Stambaugh et al. 1981). Fünf Jahre später zeigte eine Arbeitsgruppe aus Michigan, USA einen direkten Zusammenhang zwischen Residualkonkrementen und Taschentiefe auf. Zusätzlich attestierte diese Studie dem chirurgischen Vorgehen bei Taschentiefen jenseits von 4mm eine eindeutige Überlegenheit (Caffesse et al. 1986).

1.3.2. Maschinelle Reinigung

1.3.2.1. Schall und Ultraschall

Die Methode der Wurzeloberflächenreinigung mit schall- beziehungsweise ultraschallgetriebenen Instrumentenspitzen steht im Mittelpunkt dieser

Studie und beruht im Wesentlichen darauf, dass diese Instrumentenspitzen durch drei unterschiedliche Prinzipien (schall-, magnetostruktiv- und piezogetrieben) in verschiedene Muster von Schwingungen versetzt werden, um dann - wenn sie an der Wurzeloberfläche entlang geführt werden - weiche und harte Beläge vom Zahn zu lösen (Abb. 13). Das in dieser Untersuchung benutzte Gerät „Sonicflex®“ von KaVo wird an die Turbinenkupplung der Behandlungseinheit angeschlossen und dadurch pneumatisch angetrieben. Durch die Druckluft wird im Inneren des Handstücks ein Zylinder in Schwingung gebracht, der dieses Bewegungsmuster dann an die Arbeitsspitze weiterleitet. So oszilliert die Spitze mit bis zu 6kHz und einer Auslenkungsamplitude von bis zu 1000µm in kreisförmig-elliptischer Bewegung und ist damit repräsentativ für das Prinzip des Schallscalers. Die Erzeugung von Bewegung bei Ultraschallscalern wird durch zwei verschiedene Verfahrensweisen erzeugt. Es handelt sich meistens um separate Geräte, die nicht mit einer Kupplung der Behandlungseinheit verbunden werden können. Das magnetostruktive Prinzip beruht auf der Tatsache, dass eine hochfrequente Wechselspannung an ein Bündel aus kleinen Metallstäben angelegt, durch das schnelle Bewegen der magnetischen Pole in einer Stauchung und Dehnung dieser Stäbe resultiert (Janocha 1992). Dieses eher ovale Schwingungsmuster wird wie zum Beispiel bei dem Gerät „Cavitron®“ von Dentsply vom Inneren des Handstücks an die Arbeitsspitze geleitet. Dies geschieht mit einer Frequenz von 20 bis 45kHz und ist damit im Ultraschallbereich.

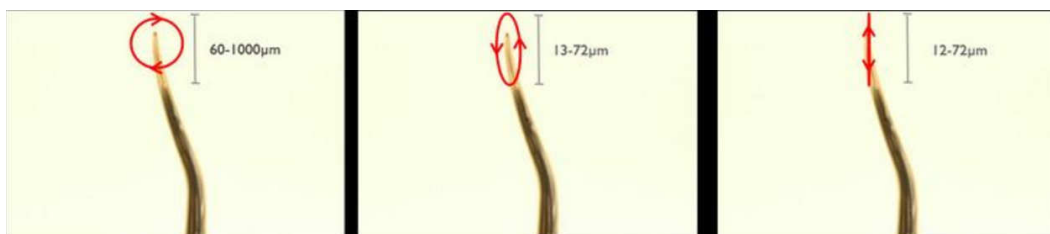


Abb. 13: Oszillationsmuster und Schwingungsamplitude von Schallscalerspitz (links), magnetostruktiv- (mitte) und piezogetriebener Ultraschallscalerspitz (rechts), Quelle: Sachs 2014

Die Auslenkungsamplitude der Instrumentenspitze bei so betriebenen Scalern beträgt ca. 13-72µm (Sachs 2014). Das zweite Prinzip zur

Erzeugung von Bewegungsfrequenzen im Ultraschallbereich ist auf die Dehnung beziehungsweise die Stauchung eines Keramikkörpers innerhalb des Handstücks bei Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung zurückzuführen. Dieser sogenannte Piezoeffekt von keramischen Körpern oder Kristallen findet auch in den in dieser Studie gebrauchten Geräten „PerioScan®“ von Sirona und „Vector Scaler®“ von Dürer Verwendung. Im Falle des Geräts „Vector Scaler®“ von Dürer wird dieser Effekt modifiziert und so dazu benutzt, eine strikt lineare Auslenkung an der Scalerspitze zu erreichen. Diese schwingt dann mit bis zu 32kHz und einer Auslenkungsamplitude von 12-72µm in einem geraden Muster nahezu parallel zur Zahnachse. Allen eben vorgestellten Baumustern gemeinsam ist ihre Benutzung: Man führt sie unter stetiger Spülung in die Zahnfleischtasche und bewegt die Scalerspitze in systematischen Bewegungen an der Wurzeloberfläche entlang. Hierbei wird von *Flemmig* et al. hervorgehoben, dass die Abtragsleistung der Geräte maßgeblich vom Anstellwinkel der Spitze an die Wurzeloberfläche und von der lateral aufgebrachten Anpresskraft abhängig ist (*Flemmig* et al. 1998). Die Entfernung von Belag findet durch rüttelnde und hämmernde Bewegungen der Spitze unter direktem Zahnkontakt statt. *Khambay* et al. beschreiben die Arbeitsweise von Schall- und Ultraschallspitzen detaillierter und legen dem Schallscaling das „Acoustic microstreaming“ als genaueres Wirkprinzip zugrunde (*Khambay* und *Walmsley* 1999). Sie fanden heraus, dass das Ablösen von Plaque mit Ultraschallspitzen unter Anderem auch durch Mikroströmungen innerhalb des Spülmediums, die durch die Schwingungsfrequenzen im Ultraschallbereich (< 20 kHz) ausgelöst werden, geschieht. Weiterhin wird ein Substanzabtrag noch von Verwirbelungen des Spülmediums durch die schnelle Bewegung der Spitze und von Kavitation, die durch die Implosion kleinster Luftbläschen entsteht, bewerkstelligt (*Silva* et al. 2012). In der gleichen Studie bescheinigen die Autoren den piezo- und magnetostruktivgetriebenen Geräten Gleichheit in ihrer Effektivität, während in einer anderen Untersuchung der piezogetriebene Ultraschallscaler im Vergleich zum magnetostruktivgetriebenen Pendant als effektiver beschrieben wird (*Busslinger* et al. 2001). Die Stellungnahme, die von der DGZMK und der

DGParo im Jahr 2005 veröffentlicht wurde, schließt mit dem Résumé, dass die Behandlung mit Schall- und Ultraschallscalern als gleichwertig zu betrachten ist (*Petersilka und Flemmig 2005*).

Abschließend ist anzumerken, dass die Verwendung von Ultraschall- und Schallscalern mit einer beträchtlichen Entwicklung von Aerosol und Sprühnebel einhergeht und es deswegen gilt, bei deren Benutzung eine Kontamination von Personal und Einrichtung zu vermeiden. Es wird dem Zahnarzt und dessen Personal nahegelegt, den Patienten vor der Behandlung mit einer antimikrobiellen Flüssigkeit, wie zum Beispiel Chlorhexidin, spülen zu lassen (*Sawhney et al. 2015*).

1.3.2.2. Pulver-, Luft- und Wasserstrahl

Pulverstrahlgeräte können entweder Instrumente sein, die an die Turbinenkupplung der Behandlungseinheit gesteckt werden oder solche Geräte, die separat neben der Einheit positioniert und bedient werden müssen. Sie wurden in dieser Untersuchung nicht verwendet und sollen nur ergänzend beschrieben werden. Ihre Arbeitsweise ist gleich: In einer Kammer am Handstück der Instrumente wird ein Pulver mit Druckluft verwirbelt und dann mit Wasser angefeuchtet aus der Austrittsdüse gegen die Zahnfläche ausgeworfen. Das Pulver, das normalerweise zur supragingivalen Belags- und Verfärbungsentfernung benutzt wird ist in der Regel Natriumbikarbonat (NaHCO_3) und eignet sich wegen seiner hohen Abrasivität nicht zur subgingivalen Instrumentation, da die Zahnwurzel dadurch zu stark beschädigt würde (*Atkinson et al. 1984*). Außerdem wurde bei der subgingivalen Benutzung konventioneller Pulverstrahlgeräte von Emphysemen berichtet, die nach der Behandlung auftraten (*Bumpous et al. 2001*).



Abb. 14: Handstückkopf und Austrittsdüse des Pulverstrahlgeräts PerioFlow® von E.M.S., Quelle: Moëne et al. 2009

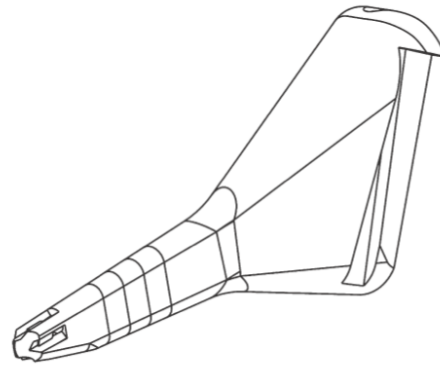


Abb. 15: Detailansicht der Austrittsdüse von PerioFlow®, Quelle: Moëne et al. 2009

Mittlerweile wird eine Austrittsdüse in Verbindung mit einem Pulver angeboten, die ein subgingivales Arbeiten erlaubt („PerioFlow®“, E.M.S. Electro Medical Systems, Nyon, CH). Dabei handelt es sich um Glycin-Pulver, welches eine geringere Korngröße besitzt und in Verbindung mit geringerem Austrittsdruck die Zahnschubstanz schont. Das Düsensdesign verhindert einen vertikalen Auswurf, sodass Emphysemgefahr und Weichgewebsschäden verringert werden (Moëne et al. 2009), (Abb. 14, 15). In der selben Studie wird angeführt, dass diese Form des subgingivalen Instrumentierens jedoch nicht zur Entfernung von mineralisierten Konkrementen geeignet ist, da die Kraft des Geräts dazu nicht ausreicht und es somit nur zur Plaqueentfernung geeignet ist.

1.3.2.3. Laser

Laser (englisch, Akronym für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) werden nach der Art und dem Zustand des Stoffes unterschieden, in dem die anschliessend emittierten Photonen angeregt werden. So finden in der Zahnheilkunde vornehmlich Feststoff-, Dioden- und CO₂-Laser Verwendung. Sie unterscheiden sich besonders in der Wellenlänge des von ihnen emittierten Lichts und sind so für unterschiedliche zahnmedizinischen Behandlungen brauchbar. Das Wirkprinzip von Laserlicht lässt sich vereinfacht so erklären, dass die hohe Lichtenergie des Lasers vom Zielgewebe absorbiert wird und dort

thermomechanisch zur Ablation desselben führt. Für die Parodontologie ist Laserstrahlung insofern interessant, als dass Studienergebnisse und Fallbeispiele die Möglichkeit implizieren, Konkrement und Mikroorganismen schmerzarm und schnell aus dem parodontalen Gewebe zu entfernen (*Braun et al. 2010, Aoki et al. 2000, Klaus 2014*). Zusätzlich wird von vorübergehender Keimreduktion in der Zahnfleischtasche berichtet, nachdem mit einem Laser behandelt wurde. Diese Erscheinung führen die Autoren auf Hitzeentwicklung im Laserlicht absorbierenden Gewebe zurück (*Yaneva et al. 2014, Hellwig et al. 2013*). Je nach Einstellung der relevanten Arbeitsparameter wie Wellenlänge, Pulsenergie, -frequenz und -dauer erfüllt der Laser Kriterien zum Einsatz für verschiedene Zwecke. Das Handstück eines Lasergeräts ähnelt in seiner Form einem konventionellen Schallscaler-Handstück und das Laserlicht verlässt an dessen Arbeitsende das Handstück durch eine grazile fiberoptische Faser. Diese Faser ist dementsprechend das Gegenstück zur Schallspitze der eben beschriebenen Scaler und wird während der parodontologischen Behandlung durch die Zahnfleischtasche oder über die Gingiva geführt (*Abb. 16*). In der Praxis hat sich besonders der Er:YAG-Feststoff-Laser (Erbium dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser) bewährt (*Sanz et al. 2008*). Das Output dieses Lasers ist nicht sichtbares Licht aus dem Infrarotbereich mit einer Wellenlänge von 2940nm.



Abb. 16: Handstück des Er:YAG-Lasers „elexxion duros®“ von elexxion, ohne Lichtfaser
Quelle: Firma elexxion, Singen, 2015

Bei dieser Wellenlänge befindet sich das Absorptionsmaximum von Wasser und Hydroxylapatit, weshalb dieser Lasertyp gut für den Einsatz in Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle geeignet ist. In einer Stellungnahme der DGZMK in Zusammenarbeit mit der DGParo aus dem Jahr 2005 resümierten die Autoren, dass die Lasertechnologie für die

Parodontologie zwar viel Potential habe, es aber noch Forschungsbedarf bezüglich deren Einsetzbarkeit gebe (*Frentzen et al. 2005*). Diesbezüglich bescheinigen neuere Ergebnisse von mehreren Arbeitsgruppen für den für diese hier vorliegende Studie relevanten Bereich der subgingivalen Konkremententfernung dem Er:YAG-Laser eine ähnliche Effektivität wie Ultraschall- beziehungsweise Schallscalern und Handinstrumentierung (*Hakki et al. 2009, Ratka-Krüger et al. 2012, Zhao et al. 2014*).

1.3.3. Chemische Keimreduktion

1.3.3.1. Chlorhexidindigluconat

Chlorhexidindigluconat (CHX, Summenformel $C_{34}H_{54}Cl_2N_{10}O_{14}$) ist ein polyantimikrobieller Wirkstoff, der in der Zahnmedizin vielfältig benutzt wird. Neben CHX-haltigen Lacken als Kariesschutz zum Auftragen auf Fissuren von Seitenzähnen findet dieser Wirkstoff auch in der Desinfektion von Wurzelkanälen in der Endodontie Verwendung. Er ist in verschiedenen Darreichungsformen wie Spüllösungen, Gelen, Sprays, Lacke oder als sich langsam auflösender Chip zum Einbringen in die Zahnfleischtasche erhältlich. CHX ist dosisabhängig entweder bakteriostatisch (in Konzentrationen von 0,02 - 0,1%) oder bakterizid (in Konzentrationen von > 0,12%) wirksam und sorgt in höherer Dosierung für eine Lyse der mikrobiellen Zellen (*Jenkins et al. 1988*). Darüber hinaus besitzt Chlorhexidin eine hohe Substantivität; es wirkt also auch noch nach der Anwendung bakteriostatisch beziehungsweise bakterizid und gilt damit als wirksamstes Anti-Plaque-Mittel in der Zahnheilkunde (*Arweiler et al. 2003, Berchier et al. 2010*). In der Parodontologie kommt CHX als Adjuvans zur Keimreduktion vor und während der Behandlung, aber auch als Ergänzung der häuslichen Mundhygiene eine große Bedeutung zu. Hierbei kann auch die Anwendung einer Munddusche und CHX therapeutisch günstig sein, weil der Wirkstoff so weiter nach subgingival in die Zahnfleischtasche gelangen und effektiv die Entstehung einer Plaque hemmen kann (*Eakle et al. 1986*). Bei längerfristiger Behandlung mit Chlorhexidin wird jedoch von Zahn- und Mundschleimhautverfärbungen sowie möglichen Schleimhautirritationen und -ulzerationen gewarnt

(Karpinski und Szkaradkiewicz 2015), sodass es geeigneter erscheint, Produkte mit diesem Wirkstoff kurzzeitig und kurartig anzuwenden.

1.3.3.2. Antibiotika

Obwohl das subgingivale Instrumentieren - wie in Abschnitt 1.3. beschrieben - der wichtigste Bestandteil der parodontologischen Therapie ist, gibt es Fälle, in denen ein alleiniges subgingivales Debridement nicht ausreicht und eine zusätzliche Gabe von Antibiotika indiziert ist, um parodontalpathogene Keime aus der Zahnfleischtasche zu eradizieren: Krankheitsbilder wie insbesondere die aggressive Parodontitis, die generalisierte schwere chronische Parodontitis und Formen, die mit stark erhöhtem Vorkommen der parodontalpathogenen Keime wie *Porphyromonas gingivalis* (*P.g.*) und *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (*A.a.*) einhergehen, bedürfen laut Stellungnahme der DGZMK aus dem Jahr 2003 einer adjuvanten Antibiotikatherapie in Verbindung mit subgingivaler Instrumentierung (Beikler et al. 2003, Lindhe und Palmer 2002). Da die Erkrankung Parodontitis nicht nur durch einen Keim, sondern durch viele verschiedene Mikroorganismen und Störungen in deren Mengenverhältnis untereinander hervorgerufen wird, gibt es kein einzelnes Antibiotikum, das allein verschrieben therapeutisch genügend wäre (Dziedzic und Wojtyczka 2014). Als Konsequenz dessen wird in indizierten Fällen eine systemische Antibiotikakombinationstherapie mit dreimal täglich 250-500mg des Aminopenicillins Amoxicillin sowie dreimal täglich das Nitroimidazol Metronidazol für sieben Tage vorgesehen, um Entzündungsparameter zu verbessern und Sondierungstiefen zu verringern (Beikler et al. 2003, van Winkelhoff und Winkel 2009). Bei Allergien oder Auftreten von unerwünschten Nebenwirkungen kann auf ein Lincosamid (Clindamycin) oder Makrolid (Azithromycin) umgestiegen werden. Leitkeime der Parodontitis sind in der Lage, ins periparodontale Gewebe zu infiltrieren und können damit nicht durch alleinige Instrumentierung entfernt werden (Amano 2007, Inaba et al. 2008). In Praxis und Literatur wird der Kombinationstherapie mit Amoxicillin und Metronidazol eine hohe Wirksamkeit gegen die parodontalpathogenen Leitkeime wie *P.g.* und *A.a.* bescheinigt; eine alleinige Gabe von

Antibiotika hingegen ist therapeutisch nur eingeschränkt nutzbar, da der subgingivale Biofilm mitsamt mineralisierter Plaque erst mechanisch durch SRP aufgebrochen werden muss, damit die antibiotischen Stoffe an den Keimen wirken können (Feres et al. 2015, Herrera et al. 2008). Die ausschließlich lokale Applikation von Antibiotika, wie zum Beispiel durch Einlage eines Gels birgt die Gefahr einer Entwicklung von Resistenzen (Ardila et al. 2010); aus diesem Grund kann es medizinisch günstiger sein, eine systemische Therapie zu bevorzugen. Ergänzend könnte während der Antibiotikatherapie eine tägliche Benutzung von CHX-Mundspüllösung angezeigt sein, um eine Superinfektion durch Hefepilze wie *Candida albicans* zu vermeiden.

1.3.3.3. Photodynamische Therapie

Seit einiger Zeit wird das Konzept der photodynamischen Therapie (PDT) in der Dermatologie angewandt und verfolgte dort zuerst das Ziel der Beseitigung von Präkanzerosen oder oberflächlichen Hauttumoren. In der Zahnheilkunde und hier besonders in der Parodontologie und Endodontologie stellt das Konzept eine alternative Methode zur Keimreduktion in Zahnfleischtaschen und Wurzelkanalsystemen dar (Chan und Lai 2003). Es beruht auf dem Prinzip, dass sich gewisse Farbstoffe - sogenannte Photosensibilisatoren - bei der Applikation in die Zahnfleischtasche an dort angesiedelte Mikroorganismen heften und unter Zufuhr von Licht einer bestimmten Wellenlänge Singulett-Sauerstoff bilden (Kikuchi et al. 2015). Diese Sauerstoffradikale bewirken die oxidative Zerstörung von Membran- beziehungsweise Zellbestandteilen und sind so ursächlich für den antimikrobiellen Effekt dieser Therapiemethode.

Bei Benutzung der PDT bringt der Behandler zum Beispiel den Photosensibilisator Phenothiazinchlorid (Methylenblau) in flüssiger Form mit einer stumpfen Kanüle in die Zahnfleischtasche ein, lässt ihn einwirken und spült überschüssiges Material aus. Anschließend führt er die Lichtleiterspitze eines Diodenlasers in die Zahnfleischtasche und aktiviert ihn (Abb. 17). Die Wellenlänge des Laserlichts ist mit dem Absorptionsmaximum des Photosensibilisators abgestimmt (hier 660nm), sodass die Lichtenergie möglichst effektiv auf die Entstehung von

Singulett-Sauerstoff übertragen werden kann. In Verbindung mit konventionellem SRP gilt die photodynamische Therapie als hilfreiche adjunktive Methode, um Keime aus dem geschädigten parodontalen Gewebe zu eliminieren.



*Abb. 17: Anwendung des Photosensibilisators Phenothiazinchlorid mit eingeführter Lichtleiterspitze des Lasers
Quelle: Braun 2010*

Sie zeigt sowohl experimentell als auch klinisch gute Erfolge, viele schädigende Mikroorganismen und sogar parodontalpathogene Keime wie *P.g.* oder *A.a.* abzutöten (Braun 2010). Zum Zweck der subgingivalen Konkremententfernung, welcher relevant für diese Untersuchung ist, ist die Verwendung der antimikrobiellen Photodynamischen Therapie jedoch nicht zielführend.

1.4. Ziel der Studie

Nach vorangegangener Vorstellung der Krankheit Parodontitis, ihrer Ursachen, der Symptome und der Behandlungsmöglichkeiten wird nun auf die Studienziele eingegangen. Die vorliegende Studie soll experimentell die Effektivität der getesteten Geräte, subgingivale Konkremente an extrahierten Zähnen zu entfernen, untersuchen und vergleichen. Ziel der Studie war es, anhand des PerioScan-Systems die Effektivität einer Ultraschallinstrumentierung in Abhängigkeit von den Leistungseinstellungen zu untersuchen und mit konventionellen Ultraschallsystemen bei höchster Leistungseinstellung zu vergleichen. Folgende Arbeitshypothesen wurden aufgestellt:

1. Die Effektivität des Geräts PerioScan® von Sirona unterscheidet sich in Abhängigkeit von den Leistungseinstellungen von den Effektivitäten anderer Systeme.
2. Aufgrund der heterogenen Schwingungsmuster unterscheidet sich die Effektivität der drei getesteten Geräte untereinander.
3. Gesetzt den Fall, dass mit verringerter Leistungseinstellung des Geräts PerioScan® von Sirona eine verringerte Schmerzempfindung des Patienten einhergeht, ist bei geringer Leistungseinstellung trotzdem eine klinisch akzeptable Effektivität gegeben.

2. Material und Methode

2.1. Material

2.1.1. Zahnmaterial

Für diese Studie wurden Glasbehälter mit 0,9 prozentiger Kochsalzlösung (NaCl) und einem 0,001 prozentigen Natriumazid-Zusatz (NaN_3) bei niedergelassenen Zahnärzten deponiert, die extrahierte menschliche Zähne in diesen Behältern sammelten. Die Studie wurde unter Beachtung erklärter ethischer Prinzipien (niedergelegt in der World Medical Association Declaration of Helsinki, Version VI, 2002) durchgeführt. Die Patienten wurden darüber informiert, dass ihre Zähne im Rahmen eines Studienprojekts verwendet würden.

2.1.2. Hilfsmittel und Verbrauchsmaterial

Es wurde gängiges zahnmedizinisches Grundinstrumentarium verwendet. Weiterhin kamen folgende Materialien zu Einsatz:

- Untersuchungshandschuhe Vasco[®] Sensitive (Braun, Melsungen)
- 0,9 prozentige Kochsalzlösung + 0,001 prozentiger Natriumazid-Zusatz
- herkömmlicher Mundschutz
- Kofferdam, blau (Coltène / Whaledent, Langenau)
- Objektträger, 1mm dick
- Uhu[®] Sekundenkleber (Bühl)
- digitale Spiegelreflexkamera EOS 500 D (Canon Inc., JP)

2.1.2.1. Taschenmodell

Im Rahmen der vorliegenden wurde versucht, in dieser in-vitro Studie den physiologischen Gegebenheiten im Mund und während der Behandlung möglichst nahe zu kommen. Dazu bediente man sich eines von Prof. Dr. Andreas Braun beschriebenen künstlichen Zahnfleischtaschenmodells (Faul et al. 2007), (Abb. 18.).



Abb. 18: künstliches Zahnfleischtaschenmodell befestigt auf einem Laborstativ, Silikon (Silaplast[®], Firma Detax, Ettlingen) dient zum Schutz des Objektträgers, Zähne wurden mit Sekundenkleber auf Objektträger fixiert, Kofferdam dient als Sichtschutz

Der zu untersuchende Zahn wurde mit Sekundenkleber auf einem aus der Mikroskopie bekannten Objektträger fixiert. Der Kofferdam repräsentierte das Zahnfleisch und wurde um Objektträger und Zahn befestigt, sodass der Behandler weder Wurzel noch Konkrementfläche sah. Der Objektträger samt dem mit Kofferdam bedeckten Zahn wurde dann in eine am Laborstativ befestigte Schraubzwinde geklemmt. Unter dem Taschenmodell wurde ein Behälter platziert, welches das Spülwasser des Instruments auffing, da konstruktionsbedingt auf eine Absaugung verzichtet wurde. Gegenüber des Aufbaus stand in circa 30cm Entfernung das Stativ mit der Kamera. Kameraobjektiv und Taschenmodell befanden sich auf der selben Höhe und die Kamera war starr am Stativ fixiert, um ein Verrücken des Aufbaus während des Behandeln zu verhindern. Um vorzubeugen, dass sich die Kamera während des Betätigens des Auslösers bewegt, wurde per Infrarot-Fernbedienung fokussiert und ausgelöst. Dadurch wurde versucht, stets eine gleiche Entfernung

zwischen Objektträger und Objektiv zu gewährleisten und die Perspektive nicht zu verändern.

2.1.2.2. Dr. Regener Software Vivo®

Die Software „Dr. Regener Vivo® Version 10.1“ ist ein von Dr. Erhard Regener aus Magdeburg entwickeltes Programm für Microsoft Windows™, welches unter Anderem dabei helfen soll, analoges Kartenmaterial zu digitalisieren, Karten anhand von Geo-Daten von GPS-Loggern etc. selber zu erstellen oder vorhandenes digitales Kartenmaterial auszumessen und zu verändern. Man kann neben Kartenmaterial im *.tiff*-Format auch Bilddateien im *.jpeg*-Format importieren und nach einer, wie in Kapitel 2.2.1.3. beschriebenen Kalibrierung, Strecken und Flächeninhalte berechnen.

2.1.2.3. Mettler Toledo PB 602-S®

Bei dem Modell PB 602-S® von Mettler Toledo (Columbus, OH, USA) handelt es sich um eine Präzisionswaage mit internem Justiergewicht. Sie verfügt über keinen Windschutz. Normalerweise wird sie im naturwissenschaftlichen Laborbetrieb als Feinwaage eingesetzt. Die Waage muss im Betrieb horizontal gelagert werden und misst bis zum Gewichtsmaximum von 610g auf ein Hundertstel Gramm beziehungsweise ± 10 Milligramm genau.

2.1.2.4. G*Power® Version 3.1

G*Power ist eine von den Psychologen Axel Buchner, Edgar Erdfelder, Franz Faul, Albert-Georg Lang entwickelte Software, die es dem Benutzer ermöglicht, anhand von Daten aus Versuchsreihen statistische Analysen durchzuführen. Für diese Studie wurde die Software benutzt, um die Poweranalyse durchzuführen (Faul et al. 2007).

2.1.2.5. IBM SPSS Statistics®

Das Programm SPSS Statistics® (IBM, Armonk, NY, USA) ist ein Datenanalyseprogramm, mit dem sich Daten graphisch und statistisch auswerten und verarbeiten lassen. Es wird vor allem in Unternehmen oder Forschungseinrichtungen zur Planung und Begleitung von Projekten benutzt. Für diese Arbeit wurden besonders die Funktionen zur Berechnung verschiedener statistischer Testverfahren gebraucht.

2.1.3. Instrumente

2.1.3.1. Sirona PerioScan®

PerioScan® der Firma Sirona (Bensheim) ist ein piezogetriebenes Ultraschallinstrument, welches als separates Tischgerät neben den Behandlungsstuhl gestellt wird (Abb. 19). Der Hersteller vertreibt das Gerät seit 2005 und bewirbt es damit, dass es in der Lage sei, über einen Rückkopplungsmechanismus zwischen konkrementbehafteter und sauberer Wurzeloberfläche zu unterscheiden. Zu diesem Zweck fungiert die Instrumentenspitze als Detektionselement, welches sowohl Rauigkeiten als auch Schwingungssignalunterschiede, die durch Konkrement entstehen, erkennen kann.



Abb. 19: Ultraschallscalersystem „PerioScan®“, Sirona, Bensheim, Quelle: Firma Sirona

Die Rauigkeiten werden passiv als andersartige Vibrationen beim Überfahren der Wurzel vom Gerät registriert. Die Erkennung von Schwingungssignalunterschieden wird dadurch ermöglicht, dass ein von der Instrumentenspitze auf den Zahn übertragener Schwingungsimpuls, je nach Beschaffenheit der berührten Oberfläche, zu verschiedenen Schwingungsbewegungen des Zahnes führt. Diese Schwingungsbewegung wird von dem Instrument detektiert und interpretiert (Meissner et al. 2006). Das Gerät „scannt“ die Oberflächentopologie fortlaufend innerhalb von 0,25s und gibt dem Behandler sowohl optisch durch einen blauen LED-Leuchtring als auch akustisch durch einen Signalton Rückmeldung, ob die Instrumentenspitze Konkrement berührt. Sollte dies der Fall sein, wird per Fußschalter der Therapiemodus gestartet und die Instrumentenspitze schwingt mit bis zu 32kHz. Der Hersteller verspricht sich dadurch einen geringeren Arbeitsaufwand für den Behandler, weil Diagnose und Therapie mit nur einem Instrument durchzuführen sind. Außerdem betont Sirona, dass die Instrumentenspitze im Therapiemodus ausschließlich parallel zur Zahnachse schwingt und die Behandlung für den Patienten somit schmerzärmer sei. In der vorliegenden Studie wurde das Gerät mit der Arbeitsspitze Nr. 4L verwendet. PerioScan® ist ferner auch für die Verwendung von Instrumentenspitzen zur Mikropräparation von Kavitäten oder Endodontiesonden zur Ultraschallaktivierung von Spüllösungen geeignet. Am Gerät lassen sich neben voreingestellten Intensitäten von 1, 25, 50, 75 und 100% auch stufenlose Werte zwischen 0 und 100% der Maximalleistung einstellen. Der Spülflüssigkeitsbehälter befindet sich hinten am Gerät und kann sowohl mit Wasser als auch mit speziell auf die Therapie abgestimmten Flüssigkeiten befüllt werden.

2.1.3.2. KaVo Sonicflex®

Bei Sonicflex® von dem Hersteller KaVo (Biberach an der Riss) handelt es sich um ein multifunktionelles Schallhandstück, das an die Turbinenkupplung der Behandlungseinheit gesteckt wird (Abb. 20). Es wird seit Ende der 1980er Jahre angeboten. In diesem Vergleich ist nur der Schallscaler des Systems von Bedeutung.

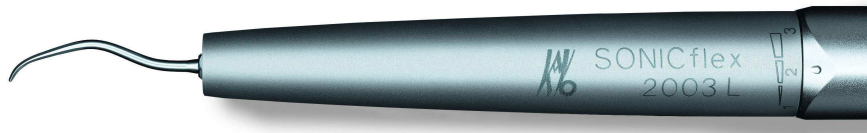


Abb. 20: Handstück mit Schallscalerspitze, „Sonicflex®“, KaVo, Biberach, Quelle: Firma KaVo

Hervorzuheben ist der Umstand, dass das Sonicflex®-System in geringerer Frequenz oszilliert als das oben beschriebene PerioScan®-System von Sirona. Es wird über den Turbinenantrieb der Behandlungseinheit pneumatisch angetrieben und schwingt mit maximal 6kHz in einer kreisförmigen oder elliptischen Bewegung. An dem Handstück lassen sich mehrere Intensitätsstufen einstellen und auch die Wasserkühlung ist manuell variierbar. Je nach gewünschtem Verwendungszweck wird wie bei den anderen Produkten eine Arbeitsspitze auf das Handstückende aufgeschraubt.

2.1.3.3. Dürr Vector Scaler®

Dürr Dental (Bietigheim-Bissingen) hat mit dem Vector Scaler® ein separates piezogetriebenes Gerät im Angebot, das sich sowohl zur supra- als auch zur subgingivalen Instrumentation der Zähne eignet (Abb. 21). Laut Dürr Dental vibriert und oszilliert der Vector Scaler® spürbar geringer als vergleichbare Systeme und sorgt so für eine schmerzarme Behandlung ohne großen Hartsubstanzverlust.



*Abb. 21: Handstück mit Ultraschallspitze, „Vector Scaler[®]“, Dürr, Bietigheim-Bissingen,
Quelle: Firma Dürr Dental*

Gespült werden kann mit Wasser, einer speziellen Hydroxylapatit-haltigen Polierlösung oder mit einer abrasiven Flüssigkeit, die Siliziumkarbid enthält. Die Flüssigkeitsbehälter sind wie bei dem PerioScan[®]-System von Sirona abnehmbar am Gerät installiert und die Intensität der Behandlung lässt sich über ein berührungsempfindliches Feld stufenlos verstellen.

2.2. Methode

2.2.1. Versuchsdurchführung

2.2.1.1. Vorbereitung der Präparate

Um zum Einen die Effektivität der parodontologischen Behandlung mit den verschiedenen Intensitätsstufen des Sirona PerioScan®-Systems und zum Anderen die Effektivität von vergleichbaren Instrumentensystemen (KaVo Sonicflex®, Dürr Vector Scaler®) zu ermitteln, wurde folgende Vorbereitungen getroffen:

Es wurden ca. 100 frisch extrahierte Zähne in Glasbehältern gesammelt, die mit 0,9-prozentiger Kochsalzlösung (NaCl physiol.) und einem 0,001-prozentigen Zusatz von Natriumazid (NaN_3) gefüllt waren. Durch den Zusatz von NaN_3 soll dem mikrobiellen Verderb bei längerer Lagerung vorgebeugt werden, indem die Atmungskette in den Mitochondrien noch lebender Zellen blockiert wird. Aus dieser Anzahl von Zähnen mussten nun brauchbare von unbrauchbaren Zähnen getrennt werden. Zähne ohne sichtbare Konkrement oder mineralisierte subgingivale Plaque wurden aussortiert, sodass schließlich 75 Zähne für die Studie ausgewählt werden konnten.

Um die spätere planimetrische Untersuchung nicht zu behindern, reinigte man die Kronen- und Wurzeloberflächen mit einem konventionellen Handscaler von anderen Geweberesten oder Verfärbungen, bis die von Konkrement bedeckte Fläche eindeutig abgrenzbar war.

Für den eigentlichen Versuch befestigte man die Zähne auf dem in Kapitel 2.1.2.1. erwähnten Taschenmodell und spannte es in die Haltevorrichtung.

2.2.1.2. Versuchsablauf

Zur Ermittlung der Effektivität einer Behandlungsmethode sind drei Größen von Bedeutung, die es zu bestimmen gilt. In diesem Versuchsrahmen sind das der *Ausgangszustand* (die mit Konkrement bedeckte Fläche in mm^2), das *Ziel* (die von Konkrement befreite Wurzeloberfläche) und der *Aufwand* (benötigte Zeit in s, um vom Ausgangszustand zum Ziel zu kommen). Für die Vergleichbarkeit der Methoden musste eine Einheit gewählt werden, die für die Leistung des jeweiligen Geräts repräsentativ ist und eine vergleichende Beurteilung zulässt.

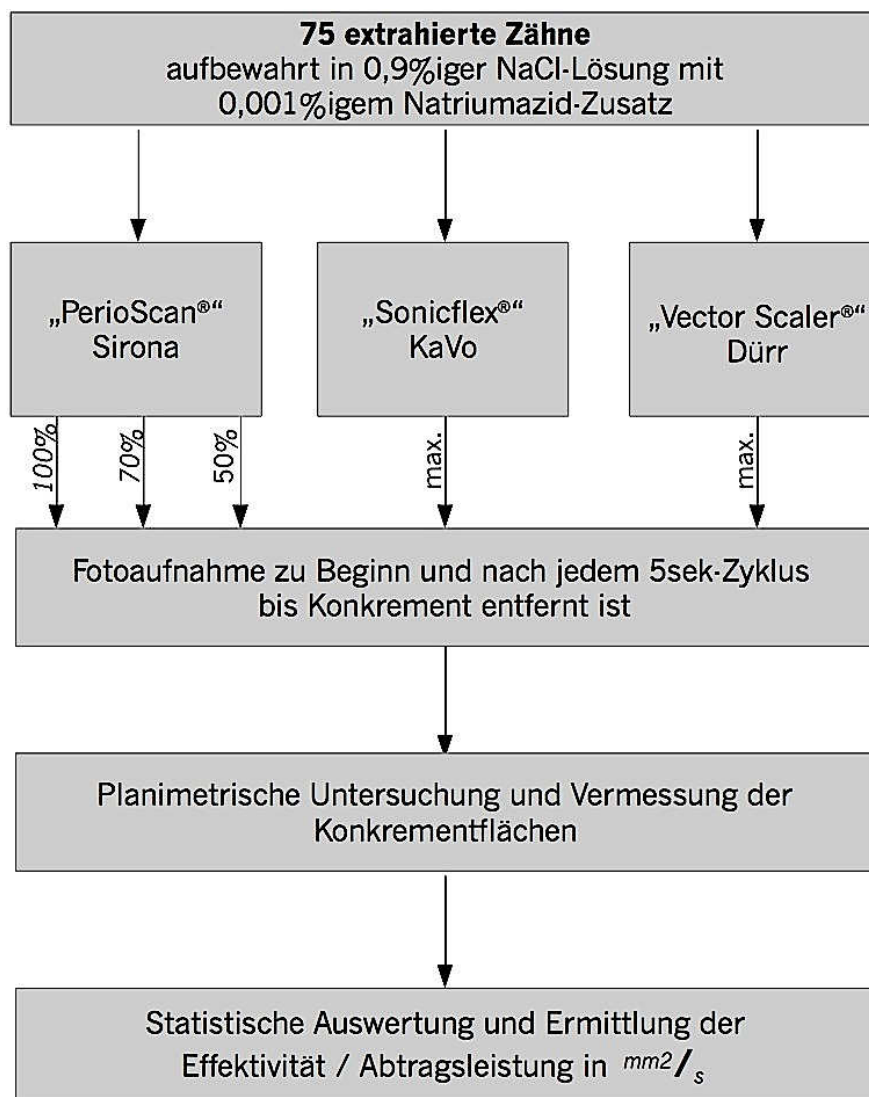


Abb. 22: Versuchsvorschrift und –ablauf

Hierfür wurde die Einheit mm^2/s gewählt, um die von Konkrement befreite Wurzelfläche pro Zeit zu beschreiben. Zur Ermittlung dieses Wertes wurde die Konkrementfläche in Zyklen von jeweils 5 Sekunden bearbeitet. Abb. 22 zeigt das Versuchsprotokoll exemplarisch auf. Wie in Kapitel 2.1.3.1. beschrieben, ist es beim Instrument Sirona PerioScan® möglich, die Reinigungsintensität entweder auf voreingestellte Stufen zu schalten (1%, 25%, 50%, 75% oder 100%) oder über die Knöpfe am Gerät eine individuelle Intensität zwischen 1 und 100% einzustellen. Den Versuchen vorausgegangene Untersuchungen ergaben, dass Intensitäten <50% für die Konkremententfernung unzureichend sind.

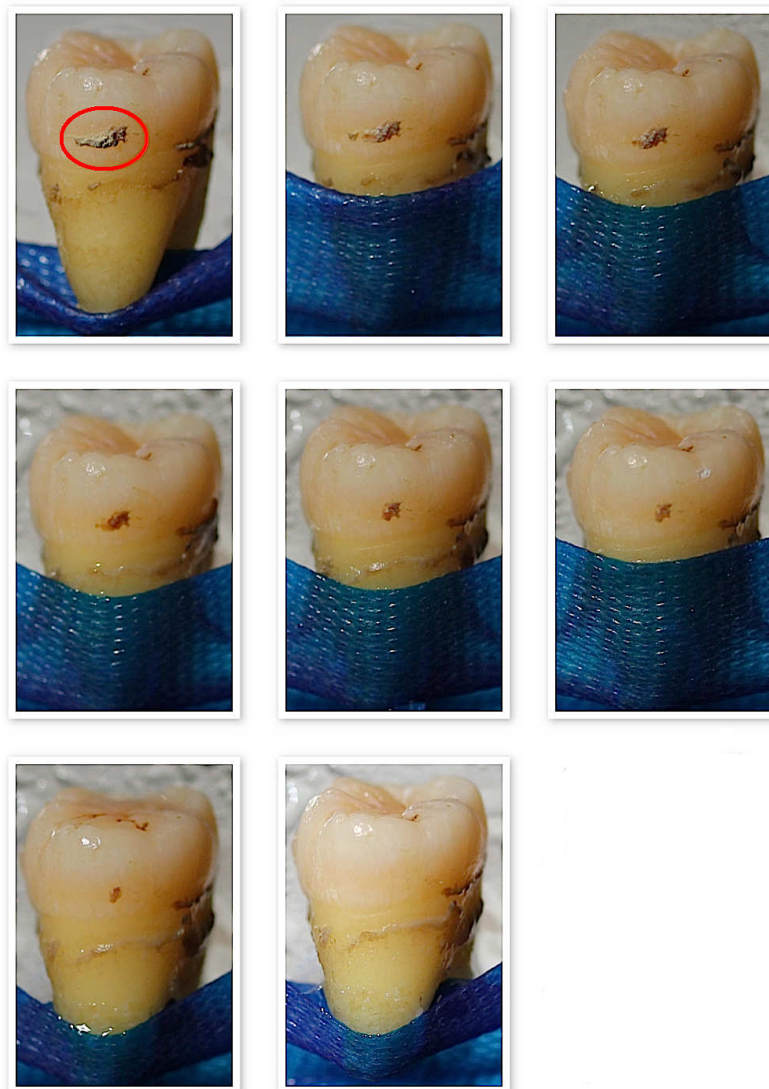


Abb. 23: Verlauf einer Konkrementreinigung in sieben Zyklen von 5 Sekunden an einem Unterkiefer-Molar, Ausgangsfläche oben links, roter Kreis: Konkrementfläche, Endzustand unten rechts

Daraufhin teilte man die Versuchsreihen mit PerioScan® in drei Gruppen à 15 Zähnen wie folgt ein: In Gruppe 1 wurde auf Intensitätsstufe 50% behandelt, in Gruppe 2 wurde Intensitätsstufe 70% gewählt und in Gruppe 3 arbeitete man auf 100% der möglichen Intensität (*Abb. 22*). Die Arbeitsspitze Nr. 4L wurde in einem circa 0- bis 10°-Winkel verwendet und in horizontalen beziehungsweise vertikalen Bahnen über die Wurzeloberfläche geführt. Vor Beginn des ersten und nach jedem folgenden 5s-Zyklus fotografierte man die zu bearbeitende Zahnfläche mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (EOS 500 D, Canon Inc., JP), die auf einem Stativ der Versuchsanordnung gegenüber stand. Die Behandlung eines Zahnes endete dann, wenn die betrachtete Konkrementfläche nicht mehr sichtbar war (*Abb. 23*). Damit die Behandlungsdauer von 5s nicht unter- oder überschritten wurde, diente eine handelsübliche Digitaluhr zur zeitlichen Orientierung. Um eine spätere Kalibrierung des Messprogramms Dr. Regener Vivo® (siehe Kapitel 2.1.2.2.) durchführen zu können, wurde vor jeder Versuchsreihe ein Bild von einem in die Haltevorrichtung eingespannten Metalllineal samt Skalierung angefertigt.

2.2.1.2.1. Vergleichsgruppen

Die in Kapitel 2.1.3.2. und 2.1.3.3. beschriebenen Instrumente KaVo Sonicflex® und Dürr Vector Scaler® dienten als Vergleichsgruppen. Beide Systeme wurden nicht weiter in Gruppen mit unterschiedlicher Behandlungsintensität unterteilt, sondern wurden zum Reinigen von 15 Zähnen auf höchster Stufe benutzt. Im Falle des Gerätes von Dürr wurde der Schallansatz C3 genutzt, für SonicFlex® von KaVo wurde der Ansatz Nr. 5 gewählt. Das Gerät Vector Scaler® von Dürr spülte in den Versuchen nicht mit einem speziellen Fluid, sondern ausschließlich mit Wasser. Analog zum Vorgehen bei den Versuchen mit PerioScan® von Sirona wurde sowohl vor dem ersten, als auch nach jedem folgenden Zyklus von 5s ein Bild gemacht, bis der jeweilige Zahn makroskopisch frei von Konkrementen war.

2.2.1.2.2. Ermittlung der Anpresskraft

Da es für die Effektivität der Behandlung und für das Wohlbefinden des Patienten von Belang ist, wie stark die Instrumentenspitze an den Zahn gedrückt wird und sich diese Anpresskraft von Behandler zu Behandler unterscheidet, wurde eine Messreihe durchgeführt, um die mittlere vom Behandler aufgewendete Kraft zu ermitteln und zu untersuchen, in welchem Bereich sich die Werte befinden. Hierzu nahm der Untersucher das Handstück des Geräts Sirona PerioScan[®] mit dem Universal-Schallspitzenansatz und presste es ohne Sichtkontrolle und mit verdeckter Anzeige auf eine Feinwaage (Mettler Toledo PB 602-S[®]). Die daraus resultierenden Werte in Gramm (g) wurden von einer Hilfsperson protokolliert und später in Newton (N) umgerechnet.

2.2.1.3. Planimetrische Untersuchung der Wurzeloberflächen

Die Bilder, die in den Versuchsreihen zu Beginn und nach jedem 5s-Zyklus aufgenommen wurden, untersuchte man digital mit dem Programm Dr. Regener Landkarte Vivo[®], Version 10.1. Der erste Schritt, welcher der eigentlichen Messung der Konkrementgröße in mm^2 vorausging, war die Kalibrierung des Längenmaßstabs. Zu diesem Zweck diente die Aufnahme der Metalllineal-Skalierung, anhand der in dem Programm genau definiert werden konnte, wie groß bei den späteren Aufnahmen der Zahnoberflächen $1mm$ und $1cm$ sind. Dieser bestimmte Maßstab bildete für jede Versuchsreihe die Grundlage zur Berechnung der markierten Flächen und wurde nach jedem Verändern des Versuchsaufbaus durch Ab- und Aufbau der benötigten Apparaturen neu definiert.

Nun importierte man die Aufnahmen im *.jpeg*-Format in das Programm, vergrößerte sie, um die Ausdehnung der von Konkrement besetzten Fläche genau zu sehen und umrahmte ebendiese zu messende Fläche mit dem entsprechenden digitalen Hilfsmittel des Programms. Der dann ausgegebene Wert war dimensionslos, konnte aber durch die vorangegangene Kalibrierung in mm^2 umgerechnet werden und entsprach folglich der realen Größe der Konkrementfläche. Mit Hilfe des Programms

wurden so die Ausgangsfläche und alle übrigen Flächen nach den Arbeitszyklen gemessen und protokolliert.

Durch die fünfsekündigen Arbeitszyklen wurde die Konkrementausgangsfläche sukzessive kleiner, bis sie schließlich komplett entfernt war. Je nach Intensitätsstufe (Sirona PerioScan®), Gerät oder Konkrementgröße waren unterschiedlich viele Arbeitszyklen nötig, um die mineralisierte Plaque zu entfernen.

Die Mittelwerte des Abtrags pro Sekunde in mm^2/s wurden für jeden Zahn, also für jede Konkrementfläche, errechnet. Aus diesen Werten wurde wiederum ein Mittelwert für jede Intensitätsstufe oder Gerätegruppe ermittelt, den man schließlich als spezifischen Abtrag pro Sekunde $\text{mm}^2/\text{s} \pm \text{Standardabweichung (SD)}$, also als Abtragsleistung des jeweiligen Gerätes auf jeweiliger Intensitätsstufe definierte.

2.3. Statistik

Die aus den Versuchen gewonnen Daten wurden am Computer im Programm Excel® (Microsoft, Redmond, WA, USA) tabellarisch aufgelistet und mittels statistischer Testverfahren im Programm SPSS Statistics® miteinander verglichen. Solche Tests sind notwendig, um zu validieren, dass die Ergebnisse nicht Produkt des Zufalls sind, sondern tatsächlich von den angewandten Methoden abhängen. Allen Tests legte man ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ zugrunde. Werte unterhalb dieses Niveaus sind statistisch signifikant, erlauben also die Annahme, dass sie auch für eine Versuchsgruppe außerhalb der Stichprobengruppe (hier $n=15$) zutreffen und somit durch die beschriebenen Methoden reproduzierbar sind. Durch den nichtparametrischen Kruskal-Wallis-Test ließ sich ein signifikanter Unterschied innerhalb der fünf Testgruppen nachweisen. Wo genau jedoch diese Unterschiede zu finden sind, sollte der Mann-Whitney-Test klären. Dieser Test vergleicht die Testgruppen in Paaren und lässt so eine Beurteilung zu, ob sich die Gruppen signifikant voneinander unterscheiden. Er folgt als sogenannter „Post-Hoc“-Test einem Testverfahren für mehr als zwei zu testende Gruppen wie dem oben genannten Kruskal-Wallis-Test, wenn in diesem ein signifikanter Unterschied ($p\text{-Wert} < 0,05$) nachgewiesen werden kann.

Vor den Versuchen wurde eine Poweranalyse mit dem Programm G*Power durchgeführt. Hierbei handelt es sich um eine Methode, die nötige Fallzahl beziehungsweise Stichprobengröße abzuschätzen, die es braucht, um nachzuweisen, dass ein eventuell ermittelter Unterschied auch wirklich signifikant und aussagekräftig ist. Die Größe „Power“ ist sozusagen ein Maß für die Sensitivität des Tests und gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der Unterschiede in den Versuchen auch wirklich entdeckt werden. Durch eine A-priori-Poweranalyse geht man sicher, dass die erhobenen Daten am Versuchsende auch wirklich genau interpretiert werden können und nicht wegen mangelnder Signifikanz, eben etwa durch eine zu klein gewählte Stichprobengröße nicht eindeutig genug sind. Für diese Studie wurde die nötige Fallzahl für eine Power von 0,8 (entspricht 80%) und einem Alphafehler von 0,05 berechnet. Dies ergab eine Gruppengröße von $n \geq 11$. Trotzdem wurde als Gruppengröße $n=15$ gewählt. Durch die Erstellung von Box-Plot-Diagrammen wurden die Auswertungen veranschaulicht (*Abb. 24*). Diese zeigen Median-, Minimal- und Maximalwerte, sowie das erste und dritte Quartil an. Als Ausreisser stellen sich Werte dar, die das 1,5- bis 3-fache des Interquartilsabstands betragen. Werte, die mehr als das 3-fache höher waren als die des Interquartilsbereichs, erscheinen im Diagramm als Stern.

3. Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der planimetrischen Untersuchung, die mit der Software Dr. Regener Vivo® durchgeführt und anschliessend in Abtrag pro Zeit umgerechnet wurden, vorgestellt und zusammengefasst.

3.1. Sirona PerioScan®

In Kapitel 2.2.1.2. beschrieb man die Versuchsdurchführung mit dem Gerät PerioScan® von Sirona. Die Abtragsleistung dieses Instruments wurde jeweils anhand von 15 Zähnen beziehungsweise anhand von 15 Konkrementflächen (n=15) je Intensitätseinstellung ermittelt.

Sirona PerioScan®	Konkrementabtrag [mm^2/s]		
	100% Leistung	70% Leistung	50% Leistung
Mittelwert	0,215	0,116	0,046
Standardabweichung	$\pm 0,153$	$\pm 0,054$	$\pm 0,017$
Median	0,176	0,091	0,045
Maximum	0,697	0,226	0,077
Minimum	0,070	0,055	0,019
Interquartilsabstand	0,126	0,069	0,022
Leistungsabnahme* (rel. zu Mittelwert 100%)	-46,05%		-78,61%

Tab. 2: relevante Messwerte des Geräts Sirona PerioScan®

Die durchschnittliche Abtragsleistung bei maximaler Arbeitsintensität (100%) zeigte die größten Werte. Der Mittelwert betrug in dieser Gruppe $0,215 \pm 0,153 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei einem Median von $0,176 \text{ mm}^2/\text{s}$. Als Extremwerte wurden $0,697 \text{ mm}^2/\text{s}$ (Maximum) und $0,070 \text{ mm}^2/\text{s}$ (Minimum) gemessen. Der Interquartilsabstand betrug $0,126$. Die Instrumentierung auf der Intensitätsstufe 70% bedeutete einen Abtragsleistungsabfall von 46,05%*. In dieser Gruppe lag die mittlere Abtragsleistung bei $0,116 \pm 0,054 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei einem Medianwert von $0,091 \text{ mm}^2/\text{s}$. Die Ausreißer wurden mit $0,226 \text{ mm}^2/\text{s}$ (Maximum) und $0,055 \text{ mm}^2/\text{s}$ (Minimum) gemessen. Die Hälfte aller Werte befanden sich in einem Bereich von $0,069$ (Interquartilsabstand). Zuletzt wurde mit dem PerioScan® von Sirona auf 50% der maximal

möglichen Intensität gearbeitet. In dieser Gruppe betrug der Mittelwert $0,046 \pm 0,017 \text{ mm}^2/\text{s}$. Die Berechnung des Medianwerts ergab $0,045 \text{ mm}^2/\text{s}$ und Maximum und Minimum betragen $0,077$ respektive $0,019 \text{ mm}^2/\text{s}$. Der Interquartilsabstand lag bei $0,022$. In dieser Gruppe ist bemerkbar, dass der Mittelwert eigentlich nur $21,39\%$ * der Maximalleistung entspricht, wenn die Maximalleistung als Mittelwert der Abtragsleistung auf 100% Intensität definiert ist (Tab. 2).

3.2. Vergleichsgruppen

Wie in Kapitel 2.2.1.2.1. beschrieben, wurden die Vergleichsgruppen mit den Geräten KaVo Sonicflex® und Dürr Vector Scaler® nicht auf unterschiedlichen Intensitätsstufen getestet. Stattdessen wurden auf maximaler Leistung je Gerät 15 Zähne beziehungsweise Konkrementflächen behandelt ($n=15$).

	KaVo Sonicflex® [mm^2/s]	Dürr Vector Scaler® [mm^2/s]
Mittelwert	0,309	0,219
Standardabweichung	$\pm 0,158$	$\pm 0,113$
Median	0,302	0,198
Maximum	0,602	0,552
Minimum	0,079	0,095
Interquartilsabstand	0,198	0,099

Tab. 3: relevante Messwerte der Vergleichsgruppen

Anhand des Mittelwerts von $0,309 \pm 0,158 \text{ mm}^2/\text{s}$ lässt sich vergleichend erkennen, dass Sonicflex® von KaVo gemittelt die höchste Abtragsleistung der drei Versuchsgeräte hat (Abb.24). Bei diesem Gerät lag der Medianwert bei $0,302$, das Maximum bei $0,602$ und das Minimum bei $0,079 \text{ mm}^2/\text{s}$. All diese Werte lagen in einem Bereich von $0,198$ (Interquartilsabstand).

Durch den Mittelwert von $0,219 \pm 0,113 \text{ mm}^2/\text{s}$ kann man das Gerät Vector Scaler® von Dürr einer ähnlichen Leistungsstufe wie Sironas PerioScan®, wenn es auf 100% betrieben wird, zuordnen. Der Medianwert befand sich bei $0,198 \text{ mm}^2/\text{s}$ und die beiden Extremwerte Maximum und Minimum betrugen $0,552$ beziehungsweise $0,095 \text{ mm}^2/\text{s}$. Für den Interquartilsabstand wurden $0,099$ gemessen. Die relevanten statistischen Werte der Kontrollgruppe sind zusammengefasst Tab. 3 zu entnehmen.

Anhand dieser Überblickswerte wie Mittelwert, Standardabweichung, Medianwert, Maximum, Minimum und Interquartilsabstand konnte die explorative Datenanalyse in einem Boxplot-Diagramm graphisch dargestellt werden (Abb. 24).

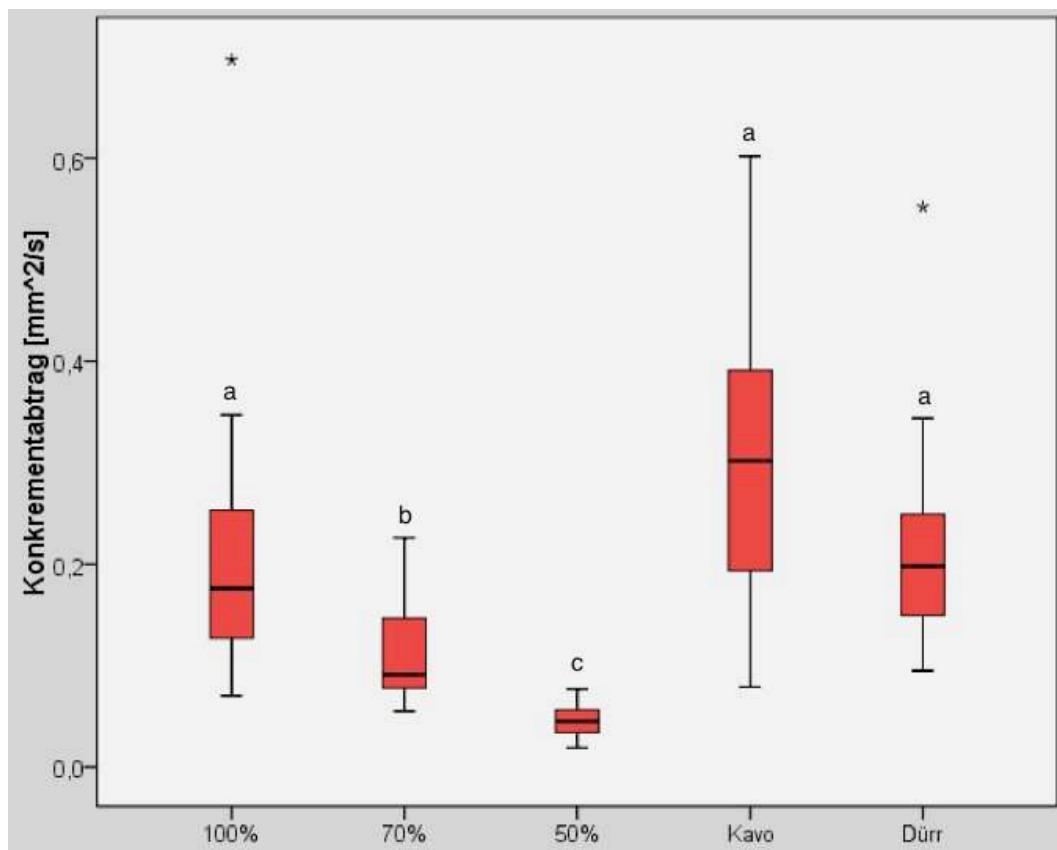


Abb. 24: Boxplotdiagramm der explorativen Datenanalyse, von links nach rechts: PerioScan® 100%, 70%, 50%, Sonicflex®, Vector Scaler®. KaVo Sonicflex® zeigt größte Abtragsleistung; Unterschiede auf maximaler Geräteintensität sind statistisch nicht signifikant (unterschiedliche Buchstaben über den Plots stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen)

3.3. Signifikanztests

Das oben gezeigte Boxplotdiagramm visualisiert die Ergebnisse und veranschaulicht die unterschiedliche Abtragsleistung der Geräte. Wie in Kapitel 2.3. beschrieben, wurden die Ergebnisse der Messungen (siehe Kap. 5.1.) durch zwei Testverfahren auf ihre statistische Signifikanz geprüft. Der Kruskal-Wallis-Test bewies einen signifikanten Unterschied zwischen den insgesamt fünf Testgruppen. Als Ergebnis des paarweise durchgeführten Mann-Whitney-Tests erhielt man für die Paarungen „100% Intensität PerioScan® vs. Dürr Vector Scaler®“ einen p-Wert von $>0,5$, für „100% Intensität PerioScan® vs. KaVo Sonicflex®“ einen p-Wert von $>0,07$ und für „KaVo Sonicflex® vs. Dürr Vector Scaler®“ einen p-Wert von $>0,1$. Bei dem gesetzten Signifikanzniveau von 5% (0,05) ergibt die Interpretation dieser Werte, dass sich die Effektivität der Geräte, wenn sie jeweils auf höchster Intensität betrieben werden, nicht signifikant unterscheidet. Vergleicht man die Leistung der drei Geräte auf maximaler Intensität jeweils mit der Leistung von PerioScan® auf 70 oder 50%, verdeutlicht eine große statistische Signifikanz ($p \leq 0,001$) den dort bestehenden Leistungsunterschied.

3.4. Anpresskraft

Die Anpresskraftmessungen an der Feinwaage PB 602-S® von Mettler Toledo ergaben, dass der Behandler im Mittel eine Kraft von $0,63 \pm 0,13$ N aufgewendet hat. Die Mitte der 20 Messwerte ($n=20$) markiert der Median mit 0,61 N. Das Maximum der Werte liegt bei 0,86 N und das Minimum beträgt 0,39 N. Die Berechnung des Interquartilsabstands ergab einen Wert von 0,16 (Tab. 4).

	Anpresskraft [N]
Mittelwert \pm SA	$0,63 \pm 0,13$
Minimum / Median / Maximum	0,39 / 0,61 / 0,86
Interquartilsabstand	0,16

Tab. 4: relevante Messwerte der Anpresskraft

4. Diskussion

Ziel dieser Studie waren Ermittlung und Vergleich der Konkrementabtragsleistung der Geräte PerioScan® von Sirona, Sonicflex® von KaVo und Vector Scaler® von Dürr. Hierbei war bei der Behandlung mit PerioScan® von besonderem Interesse, inwieweit sich die Effektivitäten unterscheiden, wenn man das Gerät auf verschiedenen Intensitäten betreibt.

An insgesamt 75 menschlichen extrahierten Zähnen, die von subgingivalem Zahnstein befallen waren, wurde versucht, die Effektivität der genannten Geräte experimentell zu testen. Zur Messung der Leistung wurde zu Beginn der Behandlung und jeweils nach 5 Sekunden Instrumentierung pausiert und ein Foto der Konkrementfläche gemacht. Die spätere digitale planimetrische Untersuchung dieser Flächen erlaubte eine Ermittlung der Abtragsleistung in mm^2/s . Da die Effektivität der Behandlungsmethoden im Mittelpunkt stand, musste die gewählte Einheit für die Vergleichbarkeit eine Leistung ausdrücken. Diese ist definitionsgemäß erklärt als „erbrachte Arbeit pro Zeiteinheit“. Um eine möglichst detaillierte und genaue Angabe zur Effizienz der Geräte machen zu können, wurde die Abtragsleistung in mm^2/s berechnet und nicht etwa in mm^2/min oder gar $\frac{\text{gereinigte Zahnfläche}}{\text{Durchgang}}$. Außerdem lässt diese Einheit einen Vergleich mit anderen Studienergebnissen zu und stellt damit eine Verknüpfung zu ähnlichen Arbeiten mit diesem Forschungsgegenstand dar (Braun et al. 2005, Aoki et al. 2000). Eine weitere Herangehensweise zur Ermittlung der Effizienz von verschiedenen Geräten und Methoden wäre die Beurteilung der therapeutischen Potenz der jeweiligen Behandlung. Hierzu untersuchten verschiedene Autoren die Taschentiefe (pocket depth, PD) sowohl vor als auch nach der Behandlung (Miremadi et al. 2014, Sculean et al. 2004). Bei diesen Studiendesigns handelt es sich jedoch um in-vivo Versuche.

Betrachtet man die Ergebnisse einer MeSH-Stichwortsuche auf PubMed bezüglich des Publikationsdatums, ist auffällig, dass immer mehr Studien, die Laser und deren Einsetzbarkeit in der Parodontologie untersuchen (Aoki et al. 2000, Miremadi et al. 2014) publiziert werden. In diesen Studien findet man entweder piezogetriebene oder magnetostriktive

Ultraschallscaler als Testgeräte, die sich mit neuen Lasertechnologien und Handscalern messen lassen müssen. Schallscaler wie KaVos Sonicflex® tauchen nur noch selten auf. Man gewinnt den Eindruck, sie seien für die subgingivale Parodontitistherapie nicht mehr von Bedeutung.

4.1. Diskussion der Methodik

In-vitro Studien und Untersuchungen erleichtern dem wissenschaftlich Arbeitenden das Standardisieren von Versuchsaufbau und -durchführung, sodass die folgenden Ergebnisse besser interpretierbar sind. Mögliche Störfaktoren werden bestmöglich eliminiert. Ferner ermöglicht ein in-vitro Studiendesign, Ergebnisse innerhalb kürzerer Zeit zu liefern als das bei einer in-vivo Studie der Fall wäre. Die Übertragbarkeit von in einer in-vitro Studie erhobenen Ergebnissen wird meist in einer darauf folgenden in-vivo Untersuchung getestet. Hierbei gilt es zu bemerken, dass eine solche Übertragbarkeit oft nur begrenzt möglich ist, da bei in-vitro Versuchen die realen klinischen Begebenheiten nur simuliert werden können. Insofern liefert eine Studie wie diese faktische Anhaltspunkte und Ergebnisse, anhand derer eine weiterführende Untersuchung am Patienten geplant werden kann.

Die für die Untersuchung gebrauchten extrahierten Zähne wurden zwischen Extraktion und Versuchsdurchführung in einer Mischung aus 0,9 prozentiger Kochsalzlösung (NaCl physiol.) und 0,001 prozentigem Natriumazid-Zusatz (NaN_3) gelagert. Die aktuelle Studienlage lässt keine definitive Beurteilung der Auswirkungen von Lagerungsflüssigkeiten auf die mechanischen Eigenschaften von Zahnhartsubstanzen und somit auch von Zahnstein zu (*Kantoor et al. 2015*), jedoch ist in vielen in-vitro Studien an extrahierten Zähnen 0,9 prozentige Kochsalzlösung als Medium nicht nachteilig aufgefallen. Der Zusatz von Natrium-Azid ist in der Literatur nur im Zusammenhang mit Untersuchungen der Schmelz- oder Dentinhaftung von Restaurationsmaterialien, nicht aber im Bezug auf Konkrement und Zahnstein erwähnt (*Aquilino und Williams 1987*). Der Grund dafür könnte sein, dass der geringen Konzentration von 0,001 Prozent keine signifikante Bedeutung für Untersuchungen an der äußeren Zahnhartsubstanz beigemessen wird. Alternativ hätte auch eine dreiprozentige Glutaraldehyd-Lösung (*Chan et al. 2000*) oder eine

einprozentige Chloramin-Lösung (*Flemmig* et al. 1998) verwendet werden können. Selbst wenn die Lagerungssubstanz Einfluss auf die Adhäsion von Konkrement an der Wurzeloberfläche hätte, wären die Ergebnisse aller Gruppen in gleichem Ausmaß und in gleicher Richtung beeinflusst worden. So wäre eine intraexperimentelle Vergleichbarkeit der Gruppen immer noch gegeben und die Ergebnisse wären damit trotzdem aussagekräftig. Die Zähne wurden erst kurz vor der Untersuchung aus dem Lagerungsmedium genommen, um einer Austrocknung des Konkrements vorzubeugen. Sowohl das anschließende Reinigen mit dem Handscaler, als auch das Einbringen in das Taschenmodell war nicht techniksensitiv. Folglich kann man eine Fehlerquelle bei diesen Vorgängen weitgehend ausschließen. Die Methode, die Versuchszähne für die Behandlung zu befestigen, hat sich schon in einer Studie zur Effizienz-Ermittlung von Behandlungsarten der Konkremententfernung bewährt (*Braun* et al. 2005). Um realitätsnähere Versuchsumstände zu simulieren, hätte man die zu untersuchenden Zähne auch in einem Phantomkopf instrumentieren können (*Kocher* et al. 1997).

Die Behandlung erfolgte in einem Arbeitswinkel von $0-10^\circ$ und einer lateralen Anpresskraft von $0,63 \pm 0,13\text{N}$. Eine Arbeitsgruppe der Münchner Zahnklinik konnten zeigen, dass die Anpresskraft einen Wert von $0,5\text{N}$ nicht unterschreiten sollte, da ansonsten ein kontinuierliches Anliegen der oszillierenden Arbeitsspitze nicht gewährleistet sei (*Flemmig* et al. 1998). Vergleicht man die in dieser Untersuchung festgestellten Kraftwerte mit denen von *Flemmig*, ist erkennbar, dass hier mit adäquatem Kraftaufwand behandelt wurde. Für eine noch genauere Kontrolle einer einheitlichen lateralen Anpresskraft hätte der Versuchsaufbau anders gestaltet werden müssen. *Kishida* et al. nutzten für einen vergleichbaren Zweck ein digitales Kraftmessgerät, welches die aufgebrachte Kraft während der Behandlung in Echtzeit anzeigt (*Kishida* et al. 2004).

Der Arbeitswinkel zwischen 0 und 10° wird ebenfalls in dieser Studie als anzustrebender Wert angegeben. Die Dauer eines Behandlungszyklus von 5s wurde durch die Anzeige einer handelsüblichen Digitaluhr strikt eingehalten, sodass es dort lediglich zu Abweichungen von Bruchteilen

einer Sekunde gekommen sein kann. Ferner wurde das Testgerät stets zuerst gestartet, bevor die Arbeitsspitze in das Taschenmodell und an die Wurzeloberfläche geführt wurde. Damit sollte vermieden werden, dass schon vor dem Starten der Behandlung taktile Anhaltspunkte aufgenommen werden könnten, die Schlüsse auf die Lage oder Dicke des Konkrements geben würden.

Dem Fehler, der durch die Berechnung eines falschen Maßstabs während der planimetrischen Untersuchung hätte entstehen können, wurde durch das Kalibrieren des Messprogramms mittels der Linealskalierung auf dem Testbild entgegengewirkt. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass die Flächenberechnung für die Arbeitsdurchläufe gleichwertig erfolgte.

Die Methode, die gewählt wurde, um die von Konkrement befallene Wurzeloberfläche digital zu vermessen, fand ebenfalls in mehreren anderen Studien Verwendung (*Chan et al. 2000, Meissner et al. 2006, Busslinger et al. 2001*). Die Autoren dieser Untersuchungen benutzten nur andere Computerprogramme. Eine japanische Forschungsgruppe benutzte ein Rasterelektronenmikroskop (REM), um nach der Behandlung der Zähne nicht nur restliches Konkrement, sondern auch eventuelle Schäden der Wurzeloberfläche und die Oberflächenrauigkeit zu messen (*Kawashima et al. 2007*). Da jedoch weder die Oberflächenrauigkeit, noch der Wurzelsubstanzverlust Forschungsgegenstand dieser Studie war, wurde auf eine REM-Untersuchung verzichtet.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

Gemäß den Ergebnissen der statistischen Testverfahren konnte festgestellt werden, dass sich die Leistung der drei verschiedenen Geräte auf höchster Intensität nicht signifikant unterscheidet.

Diese statistischen Ergebnisse werden jedoch von Studienergebnissen aus Norwegen und von der subjektiven Empfindung des Behandlers in der hier vorliegenden Studie konterkariert (*Jotikasthira et al. 1992*). *Jotikashtira et al.* verwendeten in ihrer Studie jedoch kürettenähnliche Arbeitsspitzen, wohingegen in dieser hier vorgestellten Studie die Universalspitzen, die in ihrer Form eher einer Sonde gleichen, verwendet

wurden. Das mag in der norwegischen Studie zu dem klareren Unterschied der Effektivität geführt haben.

In diesem Zusammenhang muss außerdem auf das kreisförmige Oszillationsmuster einer Schallscalerspitzte hingewiesen werden. Es unterscheidet sich, wie in Kapitel 1.3.2.1. beschrieben, maßgeblich von dem elliptischen Muster magnetostriktiver und dem linearen Muster piezogetriebener Scaler und könnte ursächlich für die möglichen Effektivitätsunterschiede sein (*Rupf et al. 2005*). Es kommt der Verdacht auf, dass durch die große Schwingungsamplitude der Schallscalerspitzte zwar eventuell minimal mehr Konkrement abgetragen wird, es aber durch das gröbere Oszillationsmuster zu mehr Missempfindungen beim Patienten führen kann.

Ein Punkt, der weder in dieser Studie noch in weiteren Untersuchungen Beachtung fand, ist die Tatsache, dass es sich bei Konkrement nicht um eine zweidimensionale Fläche, sondern eigentlich um ein dreidimensionales Volumen handelt. Der Behandler bemerkte, dass sich Konkreme besser entfernen lassen, je dicker beziehungsweise voluminöser sie waren. Inwiefern jedoch Untersuchungen mit Messung des Konkrementvolumens der Forschung auf diesem Gebiet zuträglich sind, ist zum augenblicklichen Zeitpunkt nicht abschließend zu klären.

In den hier vorgestellten Versuchen wurde bei jedem Gerät die zugehörige Universalarbeitsspitze gewählt. Arbeitsgruppen aus der Schweiz und aus England belegten, dass das Gewicht der Arbeitsspitze maßgeblich das Oszillationsmuster und somit auch die Abtragsleistung beeinflusst (*Bless et al. 2010, Lea et al. 2003*). Ebenso zeigte eine Studie aus den USA schon 1992, dass das Instrumentenspitzen-Design einen signifikanten Effekt auf die Konkrementabtragsleistung des getesteten Geräts hat (*Dragoo 1992*). In einem Position Paper des *Journals of Periodontology* wird Schallscalern und Ultraschallscalern Gleichheit in ihrer Effektivität attestiert (*Drisko et al. 2000*) und *Tunkel et al.* kommen in ihrem Review zu einer ähnlichen Schlussfolgerung (*Tunkel et al. 2002*). Auch die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit korrelieren mit diesen Beobachtungen. Viele der neueren Studien zu diesem Thema befassen sich überwiegend mit dem Einfluss der verschiedenen Methoden zur

Konkremententfernung auf die Zahnhartsubstanz und nicht mehr mit deren Effektivität. Das aktuelle Forschungsziel scheint das Finden eines therapeutisch günstigen Verhältnisses zwischen der Behandlungseffektivität und durch die Methodik bedingten Hartsubstanzverlust zu sein und mit welcher Methode dies am besten zu erreichen ist (*Silva et al. 2015, Mittal et al. 2014, Foroutan et al. 2013*).

Bei Durchsicht der relevanten Literatur entsteht der Eindruck, als sei mit Studienergebnissen wie denen von *Drisko et al.* und *Tunkel et al.* der wissenschaftliche Beweis erbracht worden, dass sich die Methoden zur maschinellen Konkremententfernung jedweder Bau- oder Arbeitsweise in puncto Behandlungseffektivität in nichts nachstehen (vgl. *Walmsley et al. 2008, Silva et al. 2012*) und man nun eruieren müsse, welche dieser Methoden der Wurzeloberfläche am wenigsten schadet. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stützen diese zentrale Aussage von *Walmsley et al.* und *Silva et al.* und erweitern sie um den differenzierenden Faktor der Intensität, auf welcher das Gerät (in diesem Fall PerioScan® von Sirona) betrieben wird.

4.3. Schlussfolgerung

Mit dieser Arbeit konnte experimentell gezeigt werden, dass sich die Konkrementabtragsleistung, also die Effektivität der getesteten Geräte, wenngleich sie verschiedene Arbeitsprinzipien und Oszillationsmuster vorweisen, nicht unterscheidet, wenn sie auf höchster Intensität betrieben werden.

Die zweite These, die in der Einleitung aufgestellt wurde, ist folglich abzulehnen: Die Effektivität von Schallscalern und piezotriebenen Ultraschallscalern unterscheidet sich bei den getesteten Systemen nicht signifikant voneinander. Ferner konnte gezeigt werden, dass die Leistung des Geräts PerioScan® von Sirona stark abnimmt, je geringer die Intensitätsstufe eingestellt wird. Bei Intensitäten $\leq 70\%$ besteht ein signifikanter Unterschied sowohl zu den Ergebnissen des gleichen Geräts auf anderen Intensitätsstufen, als auch zu den Kontrollgeräten von KaVo und Dürr. Aus diesem Grund ist die erste These, dass sich die Effektivität je nach Intensität ändert, anzunehmen.

Die dritte These, dass bei verringerter Leistungseinstellung noch klinisch akzeptable Ergebnisse erzielt werden können, kann allein anhand von diesen in einer in-vitro-Studie gewonnenen Daten nicht eindeutig bewertet werden. Sie muss im Hinblick auf die Studienergebnisse aber skeptisch betrachtet werden. Es ist zu erwarten, dass Leistungseinstellungen von <70% die Behandlung für den Patienten annehmbarer machen, die Behandlungsdauer jedoch merklich verlängern. Diese Folgerung lässt sich aus den Ergebnissen schliessen: Je geringer die Leistungseinstellung gewählt wurde, desto länger dauerte die Entfernung der Konkrementfläche. Es waren mehr Reinigungszyklen nötig und pro Zyklus wurde weniger Konkrement entfernt.

Ob Behandlungen bei Leistungseinstellungen um 50% noch therapeutisch zielführend sind, ist in Anbetracht einer Effektivitätseinbuße von fast 80% im Vergleich zur maximalen Leistung fraglich.

Inwieweit sich diese Ergebnisse, Beobachtungen und Vermutungen auf den klinischen Alltag übertragen lassen und wie die Wahl niedrigerer Intensitäten Behandlungsdauer, Behandlungseffektivität oder das Empfinden des Patienten beeinflusst, sollte Gegenstand weiterführender in-vivo Untersuchungen am Patienten sein.

5. Anhang

5.1. Ergebnisse der Versuchsreihen

<u>Sirona PerioScan®</u>						
<i>Werte in [mm²/s]</i>	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Probe	100%	100%	70%	70%	50%	50%
1	0,125	0,119	0,115	0,082	0,054	0,052
2	0,238	0,225	0,205	0,164	0,040	0,034
3	0,347	0,356	0,067	0,054	0,027	0,012
4	0,697	0,904	0,126	0,037	0,059	0,049
5	0,124	0,076	0,080	0,075	0,045	0,033
6	0,268	0,056	0,076	0,082	0,065	0,030
7	0,070	0,026	0,123	0,074	0,049	0,028
8	0,155	0,131	0,226	0,226	0,019	0,018
9	0,282	0,086	0,174	0,108	0,035	0,024
10	0,184	0,184	0,065	0,062	0,042	0,039
11	0,091	0,086	0,055	0,039	0,046	0,034
12	0,165	0,180	0,091	0,060	0,025	0,018
13	0,177	0,051	0,084	0,062	0,073	0,074
14	0,129	0,087	0,086	0,092	0,077	0,052
15	0,176	0,053	0,167	0,086	0,033	0,034
Mittelwert	0,215	0,175	0,116	0,087	0,046	0,035
Median	0,176	0,087	0,091	0,075	0,045	0,034
SA	0,153	0,219	0,054	0,049	0,017	0,016
Maximum	0,697		0,226		0,077	
Minimum	0,070		0,055		0,019	
Int.quartil	0,126		0,069		0,022	
Abnahme der Leistung zu 100%:			-46,05%		-78,61%	

Tab. 5: Ergebnisse von „PerioScan®“, Sirona

<u>Vergleichsgruppen (jew. max. Intensität)</u>				
Werte [mm^2/s]	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Probe	Kavo Sonicflex®		Dürr Vector Scaler®	
1	0,341	0,341	0,245	0,09
2	0,241	0,241	0,552	0,703
3	0,602	0,662	0,133	0,136
4	0,302	0,188	0,277	0,132
5	0,380	0,38	0,133	0,116
6	0,402	0,423	0,253	0,253
7	0,079	0,069	0,166	0,087
8	0,225	0,11	0,344	0,326
9	0,379	0,478	0,198	0,09
10	0,162	0,094	0,123	0,101
11	0,425	0,241	0,168	0,084
12	0,302	0,302	0,224	0,189
13	0,572	0,572	0,200	0,168
14	0,107	0,062	0,095	0,036
15	0,124	0,132	0,179	0,06
Mittelwert	0,309	0,286	0,219	0,171
Median	0,302	0,241	0,198	0,116
SA	0,158	0,188	0,113	0,165
Maximum	0,602		0,552	
Minimum	0,079		0,095	
Int.quartil	0,198		0,099	

Tab. 6: Ergebnisse der Vergleichsgruppen

<u>Anpresskraft</u>				
n		m [g]		F [N]
1		0,0483		0,47
2		0,0621		0,61
3		0,0481		0,47
4		0,0752		0,74
5		0,0553		0,54
6		0,0768		0,75
7		0,0872		0,86
8		0,0583		0,57
9		0,0762		0,75
10		0,0861		0,84
11		0,0692		0,68
12		0,0591		0,58
13		0,0581		0,57
14		0,0691		0,68
15		0,0402		0,39
16		0,0495		0,49
17		0,0583		0,57
18		0,0621		0,61
19		0,0692		0,68
20		0,0734		0,72
			Mittelwert:	0,63
			Standardabw.:	0,13
			Medianwert:	0,61
			Maximum:	0,86
			Minimum:	0,39
			Interquartilsabstand:	0,16

Tab. 7: Ergebnisse der Messung der Anpresskraft

5.2. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

- Abb. 1: *schematische Progression einer Parodontitis*
Quelle: Firma OraLucent, Long Beach, USA
<http://ultrablubrush.com/periodontal-gum-disease-causes-symptoms-treatments> [Stand: 24.04.2016]
- Abb. 2: *Röntgenaufnahme Zahnfilm, schwere Parodontitis im posterioren 3. Quadranten*
Quelle: Dr. Dr. B. Zahedi, Ratingen
<http://www.implantate.com/wann-muss-ein-zahn-raus/parodontitis-parodontose-zahnlockerung-durch-knochenabbau.html> [Stand: 29.10.2015]
- Abb. 3: *Röntgenaufnahme Zahnfilm, Parodontitis apicalis an Zahn 34*
Quelle: Firma Dr. Schweikart, Berlin
<http://www.zahnschmerzen.net/ursachen/wurzelbehandlung/> [Stand: 29.10.2015]
- Abb. 4: *Röntgenaufnahme Zahnfilm, kombinierte Paro-Endo-Läsion an Zahn 46 distal*
Quelle: Dr. Hans-Willi Hermann, Dr. Olaf Löffler, Bad Kreuznach <https://wurzelspitze.wordpress.com/tag/endo-paro-lasion/> [Stand: 29.10.2015]
- Abb. 5: *Schema der Entstehung von Parodontitis samt modifizierenden Faktoren, nach Page und Kornmann, 1997*
Quelle: Gurav, Abhijit N. 2014 Alzheimer's Disease and Periodontitis - an Elusive Link. Revista Da Associação Médica Brasileira 60(2): 173–180.

- Abb. 6: *Aufteilung der parodontalpathogenen Keime in Komplexe, nach Socransky, 1998*
Quelle: <http://www.richmondinstitute.com/article/oral-systemic-2/salivary-diagnostics-in-dentistry/6> [Stand: 31.10.2015]
- Abb. 7: *Zahnstein, Unterkiefer-Frontzähne, Sicht von lingual*
Quelle: Firma MEDECO, Bonn
<http://www.medeco.de/zahnheilkunde-dentalatlas/parodontologie/ursachen-von-parodontalerkrankungen/zahnstein-konkremente/> [Stand: 29.10.15]
- Abb. 8: *Konkremente, Oberkiefer-Molar, Sicht von distal*
Quelle: eigener Versuchsaufbau
- Abb. 9: *Bestimmung und Einteilung des Parodontalen Screening Index (PSI)*
Quelle: Deutsche Gesellschaft für Parodontologie e.V., Regensburg erschienen bei zwf-online 2010,
<http://www.zwf-online.info/de/fachgebiete/parodontologie/diagnostik/parodontale-fruehdiagnostik>
- Abb. 10: *Digitaler Parodontalstatus, Darstellung von fehlenden Zähnen, Implantaten, Gingivaverlauf, Sondierungstiefen, klinischem Attachmentlevel, Furkationsbeteiligung, insuffizienten Versorgungen*
Quelle: Firma ParoStatus.de, Berlin
<http://www.parostatus.de/parodontologie/> [Stand 29.10.2015]

- Abb. 11: *OPG, schwere generalisierte Parodontitis marginalis*
Quelle: Khan, FayizaYaqoob, Mubashir Mushtaq, and SuhailMajid Jan
2012 Papillon-Lefevre Syndrome: Case Report and Review of the Literature. Journal of Indian Society of Periodontology 16(2): 261.
- Abb. 12: *Gracey-Kürette 17/18 zu Reinigung der distalen subgingivalen Bereiche von Molaren, Firma Hu-Friedy, Frankfurt*
Quelle: <http://www.hu-friedy.com/products/17-18-gracey-curette.html> [Stand: 29.10.2015]
- Abb. 13: *Oszillationsmuster und Schwingungsamplitude von Schallscalerspitzte (links), magnetostriktiv- (mitte) und piezogetriebener Ultraschallscalerspitzte (rechts)*
Quelle: Sachs, Martin 2014, Maschinelle Belagsentfernung. Plaque N Care 8(2): 66–70
- Abb. 14: *Handstückkopf und Austrittsdüse des Pulverstrahlgeräts „PerioFlow®“ von E.M.S.*
Quelle: Moëne, Raphaël, Fabien Décaillet, Elene Andersen, and Andrea Mombelli, 2009 Subgingival Plaque Removal Using a New Air-Polishing Device. Journal of Periodontology 81(1): 79–88.
- Abb. 15: *Detailansicht der Austrittsdüse von „PerioFlow®“*
Quelle: Moëne, Raphaël, Fabien Décaillet, Elene Andersen, and Andrea Mombelli, 2009 Subgingival Plaque Removal Using a New Air-Polishing Device. Journal of Periodontology 81(1): 79–88.

- Abb. 16: *Handstück des Er:YAG-Lasers „elexxion duros®“ von elexxion ohne Lichtfaser, Firma elexxion, Singen*
Quelle: <http://www.elexxion.com/en/elexxion-duros-handpieces.html> [Stand: 29.10.2015]
- Abb. 17: *Anwendung des Photosensibilisators Phenothiazinchlorid mit eingeführter Lichtleiterspitze des Lasers*
Quelle: Braun, Andreas, 2010, Antimikrobielle Photodynamische Therapie Im Rahmen Der Endodontie Und Parodontitistherapie. Zahnmedizin up2date 4(6): 599–611.
- Abb. 18: *künstliches Zahnfleischtaschenmodell eingespannt in Schraubzwinde auf einem Laborstativ*
Quelle: eigener Versuchsaufbau
- Abb. 19: *Ultraschallscalersystem „PerioScan®“, Sirona, Bensheim, DE*
Quelle: <http://www.sirona.com/de/aktuelles/news-presse/instrumente-news-detail/5090/> [Stand: 29.10.15]
- Abb. 20: *Handstück mit Schallscalerspitze, „Sonicflex®“, KaVo, Biberach, DE*
Quelle: <http://www.kavo.ch/Produkte/Dental-Instrumente/MICROdentistry/SONICflex-2003-L.aspx> [Stand: 29.10.15]
- Abb. 21: *Handstück mit Ultraschallspitze, „Vector Scaler®“, Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen*
Quelle:
<http://www.duerrdental.com/produkte/zahnerhaltung/vector-paro-scaler/vector-scaler/> [Stand: 29.10.15]
- Abb. 22: *Versuchsvorschrift und -ablauf*
Quelle: eigene Versuchsvorschrift

Abb. 23: *Verlauf einer Konkrementreinigung in sieben Zyklen von 5 Sekunden an einem Unterkiefer-Molar*

Quelle: eigener Versuchsaufbau

Abb. 24: *Boxplotdiagramm der explorativen Datenanalyse*

Quelle: eigene Auswertung

Tabellen

Tab. 1: *Klassifikation der Parodontalerkrankungen, nach Armitage, 1999 und American Academy of Periodontology, Armitage, Gary C.*

1999 Development of a Classification System for Periodontal Diseases and Conditions. Annals of Periodontology 4(1): 1–6.

Tab. 2: *relevante Messwerte des Geräts Sirona PerioScan®*

Tab. 3: *relevante Messwerte der Kontrollgruppe*

Tab. 4: *relevante Messwerte der Anpresskraft*

Tab. 5: *Ergebnisse von „PerioScan®“, Sirona*

Tab. 6: *Ergebnisse der Kontrollgruppe*

Tab. 7: *Ergebnisse der Messung der Anpresskraft*

5.3. Literaturverzeichnis

Albandar, Jasim M.

2014 Aggressive and Acute Periodontal Diseases. *Periodontology* 2000 65(1): 7–12.

Amano, Atsuo

2007 Disruption of Epithelial Barrier and Impairment of Cellular Function by *Porphyromonas Gingivalis*. *Frontiers in Bioscience: A Journal and Virtual Library* 12: 3965–3974.

Aoki, A., M. Miura, F. Akiyama, et al.

2000 In Vitro Evaluation of Er:YAG Laser Scaling of Subgingival Calculus in Comparison with Ultrasonic Scaling. *Journal of Periodontal Research* 35(5): 266–277.

Aquilino, S. A., and V. D. Williams

1987 The Effect of Storage Solutions and Mounting Media on the Bond Strengths of a Dentinal Adhesive to Dentin. *Dental Materials* 3(3): 131–134.

Ardila, Carlos M., Mayra A. López, and Isabel C. Guzmán

2010 High Resistance against Clindamycin, Metronidazole and Amoxicillin in *Porphyromonas Gingivalis* and *Aggregatibacter Actinomycetemcomitans* Isolates of Periodontal Disease. *Medicina Oral, Patología Oral Y Cirugía Bucal* 15(6): e947–951.

Armitage, Gary C.

1999 Development of a Classification System for Periodontal Diseases and Conditions. *Annals of Periodontology* 4(1): 1–6.

Armitage, G. C.

2000 Periodontal Infections and Cardiovascular Disease--How Strong Is the Association? *Oral Diseases* 6(6): 335–350.

Arweiler, Nicole B., Thorsten M. Auschill, Natascha Baguley, Lutz Netuschil, and Anton Sculean

2003 Efficacy of an Amine Fluoride-Triclosan Mouthrinse as Compared to the Individual Active Ingredients. *Journal of Clinical Periodontology* 30(3): 192–196.

Atkinson, D. Ross, Charles M. Cobb, and William J. Killoy

1984 The Effect of an Air-Powder Abrasive System on in Vitro Root Surfaces. *Journal of Periodontology* 55(1): 13–18.

Atri, Mansi, Dharendra Srivastava, Jitin Kharbanda, et al.

2015 Occupational Stress, Salivary Cortisol, and Periodontal Disease: A Clinical and Laboratory Study. *Journal of International Oral Health: JIOH* 7(9): 65–69.

Bartold, P. M.

2015 Group C. Initiator Paper. Periodontal Regeneration--Fact or Fiction? *Journal of the International Academy of Periodontology* 17(1 Suppl): 37–49.

Bascones-Martínez, Antonio, Jerián González-Febles, and Javier Sanz-Esporrín

2014 Diabetes and Periodontal Disease. Review of the Literature. *American Journal of Dentistry* 27(2): 63–67.

Beck, James, Raul Garcia, Gerardo Heiss, Pantel S. Vokonas, and Steven Offenbacher

1996 Periodontal Disease and Cardiovascular Disease. *Journal of Periodontology* 67(10s): 1123–1137.

Beikler, T, H Karch, and TF Flemmig

2003 Adjuvante Antibiotika in der Parodontitistherapie. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 58(5).

Berchier, C. E., D. E. Slot, and G. A. Van der Weijden

2010 The Efficacy of 0.12% Chlorhexidine Mouthrinse Compared with 0.2% on Plaque Accumulation and Periodontal Parameters: A Systematic Review. *Journal of Clinical Periodontology* 37(9): 829–839.

Bless, Kathrin Lampe, Beatrice Sener, Jürg Dual, Thomas Attin, and Patrick R. Schmidlin

2010 Cleaning Ability and Induced Dentin Loss of a Magnetostrictive Ultrasonic Instrument at Different Power Settings. *Clinical Oral Investigations* 15(2): 241–248.

Braun, Andreas

2010 Antimikrobielle Photodynamische Therapie Im Rahmen Der Endodontie Und Parodontitistherapie. *Zahnmedizin up2date* 4(6): 599–611.

Braun, Andreas, Søren Jepsen, Daniela Deimling, and Petra Ratka-Krüger

2010 Subjective Intensity of Pain during Supportive Periodontal Treatment Using a Sonic Scaler or an Er:YAG Laser. *Journal of Clinical Periodontology* 37(4): 340–345.

Braun, Andreas, Felix Krause, Matthias Frentzen, and Søren Jepsen

2005 Efficiency of Subgingival Calculus Removal with the VectorTM-System Compared to Ultrasonic Scaling and Hand Instrumentation in Vitro. *Journal of Periodontal Research* 40(1): 48–52.

Bumpous, Jeffrey M., Gary D. Josephson, Beth A. Wambach, and J. Pieter Noordzji

2001 Subcutaneous Cervicofacial and Mediastinal Emphysema after Dental Instrumentation. *Otolaryngology -- Head and Neck Surgery* 124(2): 170–171.

Busslinger, André, Kathrin Lampe, Michel Beuchat, and Barbara Lehmann
2001 A Comparative in Vitro Study of a Magnetostrictive and a
Piezoelectric Ultrasonic Scaling Instrument. *Journal of Clinical
Periodontology* 28(7): 642–649.

Caffesse, Raul G., Patrick L. Sweeney, and B. A. Smith
1986 Scaling and Root Planing with and without Periodontal Flap
Surgery. *Journal of Clinical Periodontology* 13(3): 205–210.

Chan, Yoong K., Ian G. Needleman, and Lester R. Clifford
2000 Comparison of Four Methods of Assessing Root Surface
Debridement. *Journal of Periodontology* 71(3): 385–393.

Chan, You, and Chern-Hsiung Lai
2003 Bactericidal Effects of Different Laser Wavelengths on
Periodontopathic Germs in Photodynamic Therapy. *Lasers in Medical
Science* 18(1): 51–55.

Ciantar, Marilou
2014 Time to Shift: From Scaling and Root Planing to Root Surface
Debridement. *Primary Dental Journal* 3(3): 38–42.

Cobb, Charles M.
2002 Clinical Significance of Non-Surgical Periodontal Therapy: An
Evidence-Based Perspective of Scaling and Root Planing. *Journal of
Clinical Periodontology* 29: 22–32.

Costalonga, Massimo, and Mark C. Herzberg
2014 The Oral Microbiome and the Immunobiology of Periodontal
Disease and Caries. *Immunology Letters* 162(2, Part A). Microbiome
Influences on Host Immunity: 22–38.

Davies, Robin M., Roger P. Ellwood, Anthony R. Volpe, and Margaret E. Petrone

1997 Supragingival Calculus and Periodontal Disease. *Periodontology* 2000 15(1): 74–83.

Dennison, David K., and Thomas E. Van Dyke

1997 The Acute Inflammatory Response and the Role of Phagocytic Cells in Periodontal Health and Disease. *Periodontology* 2000 14(1): 54–78.

Doméjean-Orliaguet, Sophie, Stuart A. Gansky, and John D. Featherstone
2006 Caries Risk Assessment in an Educational Environment. *Journal of Dental Education* 70(12): 1346–1354.

Dragoo, M. R.

1992 A Clinical Evaluation of Hand and Ultrasonic Instruments on Subgingival Debridement. 1. With Unmodified and Modified Ultrasonic Inserts. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry* 12(4): 310–323.

Drisko, C. H.

1998 Root Instrumentation. Power-Driven versus Manual Scalers, Which One? *Dental Clinics of North America* 42(2): 229–244.

Drisko, C. L., D. L. Cochran, T. Blieden, et al.

2000 Position Paper: Sonic and Ultrasonic Scalers in Periodontics. Research, Science and Therapy Committee of the American Academy of Periodontology. *Journal of Periodontology* 71(11): 1792–1801.

Drisko, Connie Hastings

2001 Nonsurgical Periodontal Therapy. *Periodontology* 2000 25(1): 77–88.

Dziedzic, A., and R. D. Wojtyczka

2014 Periodontology: Antibiotics Protocol. *British Dental Journal* 217(12): 660–660.

Eakle, W. Stephan, Christine Ford, and Robert L. Boyd

1986 Depth of Penetration in Periodontal Pockets with Oral Irrigation. *Journal of Clinical Periodontology* 13(1): 39–44.

Faul, Franz, Edgar Erdfelder, Albert-Georg Lang, and Axel Buchner

2007 G*Power 3: A Flexible Statistical Power Analysis Program for the Social, Behavioral, and Biomedical Sciences. *Behavior Research Methods* 39(2): 175–191.

Feres, Magda, Luciene C. Figueiredo, Geisla M. Silva Soares, and Marcelo Faveri

2015 Systemic Antibiotics in the Treatment of Periodontitis. *Periodontology 2000* 67(1): 131–186.

Flemmig, T. F., G. J. Petersilka, A. Mehl, R. Hickel, and B. Klaiber

1998 The Effect of Working Parameters on Root Substance Removal Using a Piezoelectric Ultrasonic Sealer in Vitro. *Journal of Clinical Periodontology* 25(2): 158–163.

Flemmig, T.f., G.j. Petersilka, A. Mehl, R. Hickel, and B. Klaiber

1998 Working Parameters of a Magnetostrictive Ultrasonic Sealer Influencing Root Substance Removal In Vitro. *Journal of Periodontology* 69(5): 547–553.

Foroutan, Tahereh, Reza Amid, and Mohammad Reza Karimi

2013 Comparison of Manual Tools, Ultrasonic and Erbium-Doped Yttrium Aluminum Garnet (Er:YAG) Laser on the Debridement Effect of the Surface of the Root of Teeth Suffering from Periodontitis. *Journal of Lasers in Medical Sciences* 4(4): 199–205.

Frentzen, M, A Sculean, and H Visser

2005 Laser in der Parodontologie. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 60(6).

Genco, Robert J., and Wenche S. Borgnakke

2013 Risk Factors for Periodontal Disease. Periodontology 2000 62(1): 59–94.

Giannobile, William V.

2012 Salivary Diagnostics for Periodontal Diseases. The Journal of the American Dental Association 143, Supplement 10: 6S–11S.

Hägi, Tobias, Oliver Laugisch, Aleksandar Ivanovic, and Anton Sculean

2012 Regenerative Parodontaltherapie. Quintessence 63(9): 1161–1169.

Hajishengallis, George

2014 Immunomicrobial Pathogenesis of Periodontitis: Keystones, Pathobionts, and Host Response. Trends in Immunology 35(1): 3–11.

Hakki, Sema S., Gizem Berk, Niyazi Dundar, Mehmet Saglam, and Nukhet Berk

2009 Effects of Root Planing Procedures with Hand Instrument or Erbium, Chromium:yttrium–scandium–gallium–garnet Laser Irradiation on the Root Surfaces: A Comparative Scanning Electron Microscopy Study. Lasers in Medical Science 25(3): 345–353.

Hardy, Douglas C., Jonathan H. Ross, Corinne A. Schuyler, et al.

2012 Matrix Metalloproteinase-8 Expression in Periodontal Tissues Surgically Removed from Diabetic and Non-Diabetic Patients with Periodontal Disease. Journal of Clinical Periodontology 39(3): 249–255.

Haubek, Dorte

2010 The Highly Leukotoxic JP2 Clone of *Aggregatibacter Actinomycetemcomitans*: Evolutionary Aspects, Epidemiology and Etiological Role in Aggressive Periodontitis. *APMIS* 118: 1–53.

Hellwig, Elmar, Joachim Klimek, and Thomas Attin

2013 Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie ; mit 63 Tabellen. 6., überarb. Aufl. Köln: Dt. Zahnärzte-Verl.

Herrera, David, Bettina Alonso, Rubén León, Silvia Roldán, and Mariano Sanz

2008 Antimicrobial Therapy in Periodontitis: The Use of Systemic Antimicrobials against the Subgingival Biofilm. *Journal of Clinical Periodontology* 35: 45–66.

Hierse, Lisa, and Moritz Kebschull

2012 Epidemiologie Parodontaler Erkrankungen. *Quintessence* 63(9): 1111–1115.

Holt, Stanley C., and Jeffrey L. Ebersole

2005 *Porphyromonas Gingivalis*, *Treponema Denticola*, and *Tannerella Forsythia*: The “red Complex”, a Prototype Polybacterial Pathogenic Consortium in Periodontitis. *Periodontology 2000* 38(1): 72–122.

Hugoson, A., H. Thorstensson, H. Falitt, and J. Kuylenstierna

1989 Periodontal Conditions in Insulin-Dependent Diabetics. *Journal of Clinical Periodontology* 16(4): 215–223.

Inaba, H., K. Nakano, T. Kato, et al.

2008 Heterogenic Virulence and Related Factors among Clinical Isolates of *Porphyromonas Gingivalis* with Type II Fimbriae. *Oral Microbiology and Immunology* 23(1): 29–35.

Izadi Borujeni, Susan, Matthias Mayer, and Peter Eickholz

2015 Activated Matrix Metalloproteinase-8 in Saliva as Diagnostic Test for Periodontal Disease? A Case-Control Study. *Medical Microbiology and Immunology* 204(6): 665–672.

Janocha, Hartmut, ed.

1992 *Aktoren: Grundlagen Und Anwendungen*. Berlin ; New York: Springer-Verlag.

Jenkins, S., M. Addy, and W. Wade

1988 The Mechanism of Action of Chlorhexidine. *Journal of Clinical Periodontology* 15(7): 415–424.

Jepsen, Søren, James Deschner, Andreas Braun, Frank Schwarz, and Jörg Eberhard

2011 Calculus Removal and the Prevention of Its Formation. *Periodontology* 2000 55(1): 167–188.

Johnson, Lonnie R., Norman H. Stoller, Alan Polson, et al.

2002 The Effects of Subgingival Calculus on the Clinical Outcomes of Locally-Delivered Controlled-Release Doxycycline Compared to Scaling and Root Planing. *Journal of Clinical Periodontology* 29(2): 87–91.

Jotikasthira, Nitaya E., Tryggve Lie, and Knut N. Leknes

1992 Comparative in Vitro Studies of Sonic, Ultrasonic and Reciprocating Scaling Instruments. *Journal of Clinical Periodontology* 19(8): 560–569.

Kantoor, Pallavi, Nikhil Srivastava, Vivek Rana, and Vivek K. Adlakha

2015 Alterations in the Mechanical Properties of the Extracted Human Teeth to Be Used as Biological Restorations on Storing Them in Different Storage Media: An in Vitro Study. *Dental Traumatology* 31(4): 308–313.

Karpiński, T. M., and A. K. Szkaradkiewicz

2015 Chlorhexidine--Pharmaco-Biological Activity and Application. European Review for Medical and Pharmacological Sciences 19(7): 1321–1326.

Kawashima, H., S. Sato, M. Kishida, and K. Ito

2007 A Comparison of Root Surface Instrumentation Using Two Piezoelectric Ultrasonic Scalers and a Hand Scaler in Vivo. Journal of Periodontal Research 42(1): 90–95.

Kebschull, Moritz

2012 Parodontitis Und Allgemeinerkrankungen. Quintessence 63(9): 1209–1213.

Khambay, B.s., and A.d. Walmsley

1999 Acoustic Microstreaming: Detection and Measurement Around Ultrasonic Scalers. Journal of Periodontology 70(6): 626–636.

Khan, FayizaYaqoob, Mubashir Mushtaq, and SuhailMajid Jan

2012 Papillon-Lefevre Syndrome: Case Report and Review of the Literature. Journal of Indian Society of Periodontology 16(2): 261.

Kikuchi, Takeshi, Makio Mogi, Ichihiro Okabe, et al.

2015 Adjunctive Application of Antimicrobial Photodynamic Therapy in Nonsurgical Periodontal Treatment: A Review of Literature. International Journal of Molecular Sciences 16(10): 24111–24126.

Kim, Eun-Kyong, Sang Gyu Lee, Youn-Hee Choi, et al.

2013 Association between Diabetes-Related Factors and Clinical Periodontal Parameters in Type-2 Diabetes Mellitus. BMC Oral Health 13: 64.

Kishida, Mamoru, Shuichi Sato, and Koichi Ito

2004 Effects of a New Ultrasonic Scaler on Fibroblast Attachment to Root Surfaces: A Scanning Electron Microscopy Analysis. *Journal of Periodontal Research* 39(2): 111–119.

Klaus, Rainer

2014 Laserunterstützte Parodontitistherapie Am Beispiel Des Nd:YAG-Lasers. ZWP Online - Das Nachrichtenportal Für Die Dentalbranche. <http://www.zwp-online.info/de/fachgebiete/laserzahnmedizin/parodontologie/laserunterstuetzte-parodontitistherapie-am-beispiel-des-nd-yag-lasers>, accessed October 27, 2015.

Kocher, Thomas, Andreas Rühling, Hauke Momsen, and Hans-Christian Plagmann

1997 Effectiveness of Subgingival Instrumentation with Power-Driven Instruments in the Hands of Experienced and Inexperienced Operators. *Journal of Clinical Periodontology* 24(7): 498–504.

Laine, Marja L., Wim Crielaard, and Bruno G. Loos

2012 Genetic Susceptibility to Periodontitis. *Periodontology* 2000 58(1): 37–68.

Laine, M. L., M. A. Farré, G. González, et al.

2001 Polymorphisms of the Interleukin-1 Gene Family, Oral Microbial Pathogens, and Smoking in Adult Periodontitis. *Journal of Dental Research* 80(8): 1695–1699.

Lea, S. C., G. Landini, and A. D. Walmsley

2003 Ultrasonic Scaler Tip Performance under Various Load Conditions. *Journal of Clinical Periodontology* 30(10): 876–881.

Lindhe, J., and R. Palmer

2002 Group C Summary. *Journal of Clinical Periodontology* 29: 160–162.

Löe, H., A. Anerud, H. Boysen, and E. Morrison

1986 Natural History of Periodontal Disease in Man. *Journal of Clinical Periodontology* 13(5): 431–440.

Marshall, Ri, and Pm Bartold

1998 Medication Induced Gingival Overgrowth. *Oral Diseases* 4(2): 130–151.

Meissner, Grit, Bernd Oehme, Jens Strackeljan, and Thomas Kocher

2006 A New System to Detect Residual Subgingival Calculus: In Vitro Detection Limits. *Journal of Clinical Periodontology* 33(3): 195–199.

Miremadi, Sr, J Cosyn, D Schaubroeck, et al.

2014 Effects of Root Surface Debridement Using Er:YAG Laser versus Ultrasonic Scaling – a SEM Study. *International Journal of Dental Hygiene* 12(4): 273–284.

Mishra, Shanu, and M. B. Mishra

2013 Tobacco: Its Historical, Cultural, Oral, and Periodontal Health Association. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry* 3(1): 12–18.

Mittal, Antush, Ashish Sham Nichani, Ranganath Venugopal, and Vuppalapati Rajani

2014 The Effect of Various Ultrasonic and Hand Instruments on the Root Surfaces of Human Single Rooted Teeth: A Planimetric and Profilometric Study. *Journal of Indian Society of Periodontology* 18(6): 710–717.

Moëne, Raphaël, Fabien Décaillet, Elene Andersen, and Andrea Mombelli

2009 Subgingival Plaque Removal Using a New Air-Polishing Device. *Journal of Periodontology* 81(1): 79–88.

Mombelli, Andrea, Sture Nyman, Urs Brägger, Jan Wennström, and Niklaus P. Lang

1995 Clinical and Microbiological Changes Associated with an Altered Subgingival Environment Induced by Periodontal Pocket Reduction. *Journal of Clinical Periodontology* 22(10): 780–787.

Nixdorff, Uwe, and Dietrich Abeck, eds.

2009 Check-up-Medizin: Prävention von Krankheiten - evidenzbasierte Empfehlungen für die Praxis ; 83 Tabellen. Stuttgart: Thieme.

Page, Roy C., and Kenneth S. Kornman

1997 The Pathogenesis of Human Periodontitis: An Introduction. *Periodontology* 2000 14(1): 9–11.

Petersilka, GJ, and TF Flemmig

2005 Schall- und Ultraschallscaler in der Parodontitistherapie. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 60(6).

Pischon, N., N. Heng, J.-P. Bernimoulin, et al.

2007 Obesity, Inflammation, and Periodontal Disease. *Journal of Dental Research* 86(5): 400–409.

Rapp, Gisela Estela, Nicolas Pineda-Trujillo, Andrew McQuillin, and Maurizio Tonetti

2011 Genetic Power of a Brazilian Three-Generation Family with Generalized Aggressive Periodontitis. II. *Brazilian Dental Journal* 22(1): 68–73.

Ratka-Krüger, Petra, Dominik Mahl, Daniela Deimling, et al.

2012 Er:YAG Laser Treatment in Supportive Periodontal Therapy. *Journal of Clinical Periodontology* 39(5): 483–489.

Rupf, Stefan, Iris Brader, Doris Vonderlind, et al.

2005 In Vitro, Clinical, and Microbiological Evaluation of a Linear Oscillating Device for Scaling and Root Planing. *Journal of Periodontology* 76(11): 1942–1949.

Sachs, Martin

2014 Maschinelle Belagsentfernung. *Plaque N Care* 8(2): 66–70.

Sanz, M., W. Teughels, and on behalf of group A of the European Workshop on Periodontology

2008 Innovations in Non-Surgical Periodontal Therapy: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology. *Journal of Clinical Periodontology* 35: 3–7.

Sawhney, Anshul, Sanjay Venugopal, Girish R.J. Babu, et al.

2015 Aerosols How Dangerous They Are in Clinical Practice. *Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR* 9(4): ZC52–ZC57.

Scannapieco, F. A., E. M. Stewart, and J. M. Mylotte

1992 Colonization of Dental Plaque by Respiratory Pathogens in Medical Intensive Care Patients. *Critical Care Medicine* 20(6): 740–745.

Schiffner, U, Hoffmann T, Kerschbaum T, and Micheelis W

2009 Oral Health in German Children, Adolescents, Adults and Senior Citizens in 2005. *Community Dental Health* 26(1): 18–22.

Sculean, Anton, Frank Schwarz, Mohammad Berakdar, et al.

2004 Non-Surgical Periodontal Treatment with a New Ultrasonic Device (Vector™-Ultrasonic System) or Hand Instruments. *Journal of Clinical Periodontology* 31(6): 428–433.

Silva, D, O Martins, S Matos, et al.

2015 Histological and Profilometric Evaluation of the Root Surface after Instrumentation with a New Piezoelectric Device – Ex Vivo Study. International Journal of Dental Hygiene 13(2): 138–144.

Silva, Lidia Brión, Kathleen O. Hodges, Kristin Hamman Calley, and John A. Seikel

2012 A Comparison of Dental Ultrasonic Technologies on Subgingival Calculus Removal: A Pilot Study. American Dental Hygienists Association 86(2): 150–158.

Slots, Jørgen

2010 Human Viruses in Periodontitis. Periodontology 2000 53(1): 89–110.

Socransky, S.s., A.d. Haffajee, M.a. Cugini, C. Smith, and R. L. Kent

1998 Microbial Complexes in Subgingival Plaque. Journal of Clinical Periodontology 25(2): 134–144.

Stambaugh, R. V., M. Dragoo, D. M. Smith, and L. Carasali

1981 The Limits of Subgingival Scaling. The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry 1(5): 30–41.

Stein, Jamal

2012 Diagnostik in Der Parodontologie. Quintessence 63(9): 1127–1137.

Tan, Benjamin T.K., Nicola J. Mordan, Jason Embleton, Jonathan Pratten, and Peter N. Galgut

2004 Study of Bacterial Viability within Human Supragingival Dental Calculus. Journal of Periodontology 75(1): 23–29.

Tezal, Mine, Jean Wactawski-Wende, Sara G. Grossi, et al.

2000 The Relationship Between Bone Mineral Density and Periodontitis in Postmenopausal Women. Journal of Periodontology 71(9): 1492–1498.

Tunkel, J., A. Heinecke, and T. F. Flemmig

2002 A Systematic Review of Efficacy of Machine-Driven and Manual Subgingival Debridement in the Treatment of Chronic Periodontitis. *Journal of Clinical Periodontology* 29: 72–81.

Walmsley, A. Damien, Simon C. Lea, Gabriel Landini, and Anthony J. Moses

2008 Advances in Power Driven Pocket/root Instrumentation. *Journal of Clinical Periodontology* 35: 22–28.

Wilson, Thomas G.

1996 Compliance and Its Role in Periodontal Therapy. *Periodontology* 2000 12(1): 16–23.

van Winkelhoff, Arie J., and Edwin G. Winkel

2009 Antibiotics in Periodontics: Right or Wrong? *Journal of Periodontology* 80(10): 1555–1558.

Włosowicz, Monika, Beata Wożakowska-Kapłon, and Renata Górka

2014 Periodontal Disease in Relation to Selected Parameters of the Cardiovascular System in a Group of Patients with Stable Angina Pectoris. *Central-European Journal of Immunology* 39(2): 181–186.

Wolf, Herbert F., Edith M. Rateitschak-Plüss, Klaus Heinrich Rateitschak, and Herbert F. Wolf

2004 *Parodontologie*. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Farbatlanten der Zahnmedizin, Hrsg.: Klaus H. Rateitschak . ; Bd. 1. Stuttgart: Thieme.

Yaneva, Blagovesta, Elena Firkova, Emilia Karaslavova, and Georgios E. Romanos

2014 Bactericidal Effects of Using a Fiber-Less Er:YAG Laser System for Treatment of Moderate Chronic Periodontitis: Preliminary Results. *Quintessence International* (Berlin, Germany: 1985) 45(6): 489–497.

Zander, Helmut A., Alan M. Polson, and Lars C. Heijl

1976 Goals of Periodontal Therapy. *Journal of Periodontology* 47(5): 261–266.

Zhao, Yanhui, Yuanzheng Yin, Li Tao, et al.

2014 Er:YAG Laser versus Scaling and Root Planing as Alternative or Adjuvant for Chronic Periodontitis Treatment: A Systematic Review. *Journal of Clinical Periodontology* 41(11): 1069–1079.

5.4. Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name : Tobias Römer

Wohnort: Scharnhorststraße 2a
53175 Bonn

Geburtsdatum: 1. Februar 1989

Geburtsort: Gießen

Staatsangehörigkeit: Deutsch

Schulische Ausbildung

1995 – 2001 Grund- und Gesamtschule in Allendorf Lumda

2001 – 2008 Justus-von-Liebig-Gymnasium in Gießen
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Zivildienst

2008 – 2009 Betreuer an der Schwarzbach-Schule für
Kinder mit Behinderung in Biberach an der Riss

Akademische Ausbildung

2010 – 2013 Studium der Zahnmedizin an der Universität Ulm

2013 – 2015 Studium der Zahnmedizin an der Universität Marburg
Abschluss: Staatsexamen, Zahnarzt

5.5. Verzeichnis der akademischen Lehrer

Lehrende an der *Universität Marburg* in alphabetischer Reihenfolge und ohne akademische Titel:

Arweiler, Ausschill, Braun, Czubayko, Fischer, Frankenberger, Gloerfeld, Hellak, Himpel, Höffken, Jablonski-Momeni, Khatib, Korbmacher-Steiner, Kretschmer, Lotzmann, Mittag, Moll, Mutters, Neff, Nonnenmacher, Peleska, Pieper, Plant, Ramaswamy, Roggendorf, Teymoortash, Weber, C., Weber, D.

Lehrende an der *Universität Ulm* in alphabetischer Reihenfolge und ohne akademische Titel:

Böckers, A., Böckers, T.M., Britsch, Fassnacht, Geibel, Grissmer, Haller, Kuhn, Kühl, Lapatki, Liss, Luthardt, Radeke, Röhlke, Rübel, Rudolph, Schlömer, Schramm, Tammer, Werz, Würth

5.6. Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie Prof. Dr. med. dent. Andreas Braun. Nicht nur für die Überlassung dieses Studienthemas sondern auch ausdrücklich für seine uneingeschränkte Unterstützung sowohl werktags als auch am Wochenende. Diese Betreuung machte die Ausarbeitung und Fertigstellung der Studie zu einem interessanten und fordernden Abschluss meiner akademischen Ausbildung. Des Weiteren gilt mein Dank den zahnmedizinischen Fachangestellten der Abteilung für Zahnerhaltung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg für ihre Hilfe, benötigtes Material zu suchen und bereitzustellen. Zuletzt möchte ich meiner Frau Maren und meiner Familie für jegliche Form des Beistands in den letzten Jahren danken. Ihnen widme ich diese Dissertation.

5.7. Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „*Effektivität des PerioScan®-Systems in der Entfernung subgingivaler Konkremente im Vergleich zu einem konventionellen Schall- und Ultraschallscaler*“ in der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Abteilung für Zahnerhaltung unter der Leitung von Prof. Dr. med. dent. Roland Frankenberger) mit Unterstützung durch Prof. Dr. med. dent. Andreas Braun ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher weder an einem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Ich versichere, dass ich sämtliche wörtlichen oder sinngemäßen Übernahmen und Zitate kenntlich gemacht habe. Mit dem Einsatz von Software zur Erkennung von Plagiaten bin ich einverstanden.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Tobias Römer)